Optik oder abhandlung uber Spiegelungen, 2-3

Isaac Newton

Digitized by Google

OSTWALD'S KLASSIKER

DER

EXAKTEN WISSENSCHAFTEN

8. In Leinen gebunden.

Es sind bis jetzt erschienen aus den Gebieten der

Physik und Astronomie:

Nr. 1. **H. Helmholtz,** Über d. Erhaltung der Kraft. (1847.) (60 S.) ℳ —.80.

» 2. **C. F. Gauss,** Allg. Lehrsätze in Beziehung auf d. im verkehrten Verhältnisse des Quadrats der Entfernung wirkenden Anziehungs- und Abstossungskräfte. (1840.) Herausg. v. A. Wangerin. (60 S.) ℳ —.80.

» 7. **F. W. Bessel,** Länge d. einfachen Secundenpendels. (1826.) Herausg. von H. Bruns. Mit 2 Taf. (171 S.) ℳ 3.—.

» 10. **F. Neumann,** D. mathem. Gesetze d. inducirten elektrischen Ströme. (1845.) Herausg. v. C. Neumann. (96 S.) ℳ 1.50.

» 11. **Galileo Galilei,** U[illegible] nstrationen üb. zwei neue Wissen[illegible] 1. 13 u. 2. Tag m. 26 Fig. im T[illegible] herausg. v. A. v. Oettingen. (

» 12. **Kant's** Allgemein[illegible] es Himmels, od. Versuch von der V[illegible] Ursprunge des ganzen Weltgebäu[illegible] en abgehandelt. (1755.) Herausgeg[illegible] 58 S.) ℳ 2.40.

» 13. **Coulomb,** 4 Abhdl. [illegible] us. (1785–1786.) Übers. u. herausg. [illegible] (8[illegible]) ℳ 1.80.

» 20. **Chr. Huyghens,** [illegible] .) Herausg. von E. Lommel. Mit

» 21. **W. Hittorf,** Über [illegible] end der Elektrolyse. (1853—1859. [illegible] r. W. Ostwald. (87 S.) ℳ 1.60.

» 23. —— —— II. Hälfte. [illegible] twald. (142 S.) ℳ 1.50.

» 24. **Galileo Galilei,** Unterredungen u. mathem. Demonstrationen über 2 neue Wissenszweige etc. (1638.) 3. u. 4. Tag mit 90 Fig. im Text. Aus dem Italien. u. Latein. übers. u. herausg. von A. von Oettingen. (141 S.) ℳ 2.—.

Digitized by Google

Nr.25. **Galileo Galilei,** Unterredungen und mathem. Demonstrationen über 2 neue Wissenszweige etc. (1638.) Anhang zum 3. u. 4. Tag, 5. u. 6. Tag, mit 23 Fig. im Text. Aus dem Italien. u. Latein. übers. und herausg. von A. von Oettingen. (66 S.) ℳ 1.20.

» 31. **Lambert's** Photometrie. (Photometria sive de mensura et gradibus luminis, colorum et umbrae). (1760.) Deutsch herausg. v. E. Anding. Erstes Heft: Theil I und II. Mit 35 Fig. im Text. (135 S.) ℳ 2.—.

» 32. —— —— Zweites Heft: Theil III, IV und V. Mit 32 Figuren im Text. (112 S.) ℳ 1.60.

» 33. —— —— Drittes Heft: Theil VI und VII. — Anmerkungen. Mit 8 Figuren im Text. (172 S.) ℳ 2.50.

» 36. **F. Neumann,** Über ein allgemein. Princip der mathemat. Theorie inducirter elektr. Ströme. (1847.) Herausg. von C. Neumann. Mit 10 Fig. im Text. (96 S.) ℳ 1.50.

» 37. **S. Carnot,** Betrachtungen üb. d. bewegende Kraft d. Feuers und die zur Entwickelung dieser Kraft geeigneten Maschinen. (1824.) Übersetzt und herausgegeben von W. Ostwald. Mit 5 Figuren im Text. (72 S.) ℳ 1.20.

» 40. **A. L. Lavoisier** u. **P. S. de Laplace,** Zwei Abhandlungen über die Wärme. (Aus den Jahren 1780 u. 1784.) Herausg. v. J. Rosenthal. Mit 13 Figuren im Text. (74 S.) ℳ 1.20.

» 44. Das Ausdehnungsgesetz der Gase. Abhandlungen von **Gay-Lussac, Dalton, Dulong** u. **Petit, Rudberg, Magnus, Regnault.** (1802-1842.) Herausg. von W. Ostwald. Mit 33 Textfiguren. (213 S.) ℳ 3. —.

» 52. **Aloisius Galvani,** Abhandlung üb. d. Kräfte der Electricität bei der Muskelbewegung. (1791.) Herausgegeben von A. J. v. Oettingen. Mit 21 Fig. auf 4 Taf. (76 S.) ℳ 1.40.

» 53. **C. F. Gauss,** Die Intensität der erdmagnetischen Kraft auf absolutes M[illegible]ss zurückgeführt. In der Sitzung der Kgl. Gesellschaft der Wi[illegible]chaften zu Göttingen am 15. December 1832 vorgelesen. Herausgegeben von E. Dorn. (62 S.) ℳ 1.—.

» 54. **J. H. Lambert,** Anmerkungen und Zusätze zur Entwerfung der Land- und Himmelscharten. (1772.) Herausgegeben von A. Wangerin. Mit 21 Textfiguren. (96 S.) ℳ 1.60.

» 55. **Lagrange** u. **Gauss,** Abhandlungen über Kartenprojection. (1779 u. 1822.) Heraussgeg. v. A. Wangerin. Mit 2 Textfig. (102 S.) ℳ 1.60.

» 56. **Ch. Blagden,** Die Gesetze der Überkaltung und Gefrierpunktserniedrigung. 2 Abhandlungen. (1788.) Herausgegeben von A. J. v. Oettingen. (49 S.) ℳ —.80.

» 57. **Fahrenheit, Réaumur, Celsius,** Abhandlungen über Thermometrie. (1724, 1730—1733, 1742.) Herausgegeben von A. J. v. Oettingen. Mit 17 Fig. im Text. (140 S.) ℳ 2.40.

Digitized by Google

Nr. 59. **Otto von Guericke's** neue »Magdeburgische« Versuche über den leeren Raum. (1672.) Aus dem Lateinischen übersetzt und mit Anmerkungen herausgegeben von Friedrich Dannemann. Mit 15 Textfiguren. (116 S.) ℳ 2.—.

» 61. **G. Green,** Ein Versuch, die mathematische Analysis auf die Theorieen der Elektricität und des Magnetismus anzuwenden. (Veröffentlicht 1828 in Nottingham.) Herausgegeben von A. v. Oettingen und A. Wangerin. (140 S.) ℳ 1.80.

» 63. **Hans Christian Oersted** und **Thomas Johann Seebeck,** Zur Entdeckung des Elektromagnetismus. (1820—1821.) Herausgegeben von A. J. v. Oettingen. Mit 30 Textfiguren. (83 S.) ℳ 1.40.

» 69. **James Clerk Maxwell,** Über Faraday's Kraftlinien. (1855 u. 1856.) Herausgegeben von L. Boltzmann. (130 S.) ℳ 2.—.

» 70. **Th. J. Seebeck,** Magnetische Polarisation der Metalle und Erze durch Temperatur-Differenz. (1822—1823.) Herausgegeben von A. J. von Oettingen. Mit 33 Textfiguren. (120 S.) ℳ 2.—.

» 76. **F. E. Neumann,** Theorie der doppelten Strahlenbrechung, abgeleitet aus den Gleichungen der Mechanik. (1832.) Herausgegeben von A. Wangerin. (52 S.) ℳ —.80.

» 79. **H. Helmholtz,** 2 hydrodynamische Abhandlungen. I. Über Wirbelbewegungen. (1858.) — II. Über discontinuirliche Flüssigkeitsbewegungen. (1868.) Herausg. v. A. Wangerin. (80 S.) ℳ 1.20.

» 80. —— Theorie der Luftschwingungen in Röhren mit offenen Enden. (1859.) Herausgegeben von A. Wangerin. (132 S.) ℳ 2.—.

» 81. **Michael Faraday,** Experimental-Untersuchungen über Elektricität. I. u. II. Reihe. (1832.) Mit 41 Figuren im Text. Herausgegeben von A. J. von Oettingen. (96 S.) ℳ 1.50.

» 86. —— —— III. bis V. Reihe. (1833.) Mit 15 Figuren im Text. Herausgegeben von A. J. von Oettingen. (104 S.) ℳ 1.60.

» 87. —— —— VI. bis VIII. Reihe. (1834.) Mit 48 Figuren im Text. Herausgegeben von A. J. von Oettingen. (180 S.) ℳ 2.60.

» 93. **Leonhard Euler,** Drei Abhandlungen üb. Kartenprojection. (1777.) Herausg. von A. Wangerin. Mit 9 Fig. im Text. (78 S.) ℳ 1.20.

» 96. **Sir Isaac Newton's** Optik oder Abhandlung über Spiegelungen, Brechungen, Beugungen und Farben des Lichts. (1704.) Übersetzt und herausgegeben von William Abendroth. I. Buch. Mit dem Bildniss von Sir Isaac Newton u. 46 Fig. im Text. (132 S.) ℳ 2.40.

» 97. —— —— II. u. III. Buch. Mit 12 Fig. im Text. (156 S.) ℳ 2.40.

» 99. **R. Clausius,** Über die bewegende Kraft der Wärme und die Gesetze, welche sich daraus für die Wärmelehre selbst ableiten lassen. (1850). Herausgegeben von Max Planck. Mit 4 Figuren im Text. (55 S.) ℳ —.80.

Digitized by Google

Sir Isaac Newton's

OPTIK

oder

Abhandlung über Spiegelungen, Brechungen, Beugungen und Farben

des

Lichts.

(1704)

Uebersetzt und herausgegeben

von

William Abendroth
(Dresden).

II. und III. Buch.

Mit 12 Figuren im Text.

LEIPZIG

VERLAG VON WILHELM ENGELMANN

1898.

Digitized by Google

Das zweite Buch der Optik.

Erster Theil.

Beobachtungen über Reflexionen, Brechungen und Farben dünner durchsichtiger Körper.

Man hat schon früher die Beobachtung gemacht, dass durchsichtige Substanzen, wie Glas, Wasser, Luft u. s. w., wenn man sie durch Aufblähen zu Blasen oder auf andere Weise zu dünnen Blättchen formt, je nach ihrer Dicke verschiedene Farben zeigen, obgleich sie bei grösserer Dicke ganz hell und farblos erscheinen. Im vorhergehenden Buche habe ich es unterlassen, diese Farben zu besprechen, weil sie schwieriger zu untersuchen schienen und zur Ermittelung der dort untersuchten Eigenschaften des Lichts entbehrlich waren. Da sie jedoch zu weiteren Entdeckungen führen können, die zur Vervollständigung der Theorie des Lichts beitragen, besonders hinsichtlich der Constitution der Theilchen der natürlichen Körper, von der ihre Farben und ihre Durchsichtigkeit abhängen, so will ich hier darüber Rechenschaft geben. Um diese Untersuchung kurz und deutlich zu machen, will ich zuerst die hauptsächlichsten meiner Beobachtungen beschreiben und diese alsdann besprechen und anwenden. Die Beobachtungen waren folgende.

1. Beobachtung. Als ich zwei Prismen so dicht an einander presste, dass ihre Flächen, die zufällig ganz wenig convex waren, sich an einer Stelle einander berührten, fand ich die Berührungsstelle vollkommen durchsichtig, als ob sie dort ein zusammenhängendes Stück Glas bildeten. Denn wenn das Licht auf die an anderen Stellen zwischen den Gläsern befindliche Luft so schief auffiel, dass es total reflectirt wurde, schien es an dieser Contactstelle vollständig durchgelassen zu werden, dergestalt dass hier beim Durchblicken

Digitized by Google

ein schwarzer oder dunkler Fleck erschien, weil wenig oder gar kein wahrnehmbares Licht reflectirt wurde, wie es an anderen Stellen der Fall war; es sah beim Durchblicken aus, als sei eine Oeffnung in der von der Luft durch das Zusammenpressen der Gläser gebildeten dünnen Lamelle. Durch diese Oeffnung konnte man jenseits gelegene Gegenstände deutlich erblicken, die man durch andere Stellen des Glases, wo die Luft dazwischen war, durchaus nicht sehen konnte. Obgleich die Gläser wenig convex waren, war dieser durchsichtige Fleck von beträchtlichem Durchmesser, und dies schien hauptsächlich von den durch den gegenseitigen Druck ein wenig nachgebenden inneren Theilchen der Gläser herzurühren; denn wenn man stärker drückte, wurde der Durchmesser viel grösser.

2. Beobachtung. Wenn durch Drehung der Prismen um ihre gemeinsame Axe die Neigung der Luftlamelle gegen die einfallenden Strahlen so gering gemacht wurde, dass einige der Strahlen hindurchgingen, so entstanden in derselben viele schmale Farbenbogen, die anfangs ungefähr die Gestalt einer Conchoide hatten, wie in der Figur 1 dargestellt ist. Beim Weiterdrehen der Prismen vermehrten sich diese Farbenbogen und krümmten sich mehr und mehr um den genannten durchsichtigen Fleck, bis sie sich endlich zu Kreisen oder Ringen um denselben zusammenzogen, die ihn immer enger einschlossen und immer kleiner wurden.

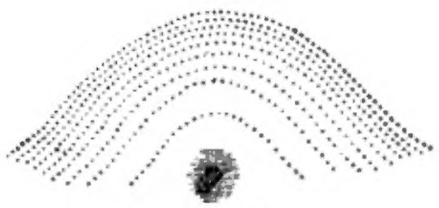

Fig. 1.

Diese Bogen waren bei ihrem ersten Auftreten von violetter und blauer Farbe, und dazwischen waren weisse Kreisbogen, die beim Weiterdrehen der Prismen an ihren inneren Rändern ein wenig roth und gelb gefärbt waren, während an der Aussenseite Blau angrenzte, so dass die Reihenfolge dieser Farben, von dem dunklen Fleck in der Mitte an gerechnet, war: Weiss, Blau, Violett; Schwarz, Roth, Orange, Gelb, Weiss, Blau, Violett u. s. w. Aber das Gelb und Roth waren viel schwächer, als das Blau und Violett.

Wenn die Drehung der Prismen um ihre Axe weiter fortgesetzt wurde, schrumpften die farbigen Ringe immer mehr zusammen und zogen sich von beiden Seiten her gegen das Weiss hinein, bis sie ganz darin verschwanden. Dann

Digitized by Google

erschienen die Kreise an diesen Stellen schwarz und weiss, ohne Beimischung von anderen Farben. Dreht man aber die Prismen noch weiter herum, so tauchen die Farben wieder aus dem Weiss auf, Violett und Blau an den inneren, Roth und Gelb an den äusseren Rändern, so dass nunmehr ihre Reihenfolge von dem Fleck in der Mitte aus: Weiss, Gelb, Roth, Schwarz, Violett, Blau, Weiss, Gelb, Roth u. s. w. ist, in umgekehrter Folge wie vorher.

3. Beobachtung. Als die Ringe oder einige Theile derselben nur schwarz und weiss erschienen, waren sie sehr deutlich und scharf begrenzt, und ihr Schwarz war ebenso intensiv, wie das des centralen Flecks. Auch an den Rändern der Ringe, wo die Farben aus dem Weiss hervorzutauchen begannen, waren sie recht deutlich und deshalb in grosser Anzahl sichtbar. Oft habe ich über 30 Aufeinanderfolgen gezählt (indem ich jedes Weiss und Schwarz als eine Folge rechnete) und habe noch mehr gesehen, die ich nur, weil sie zu schmal waren, nicht mehr zählen konnte. Aber in anderen Stellungen der Prismen, wo die Ringe mit vielen Farben auftraten, vermochte ich nicht mehr als 8 oder 9 zu unterscheiden, und dabei waren die äussersten von ihnen sehr undeutlich und schwach.

Um bei diesen beiden Beobachtungen die Ringe deutlich und frei von anderen Farben ausser Schwarz und Weiss zu sehen, fand ich es erforderlich, das Auge in einiger Entfernung davon zu halten; denn bei grösserer Annäherung tauchte, selbst unter Beibehaltung der nämlichen Neigung der Ringebene gegen das Auge, aus dem Weiss eine bläuliche Farbe hervor, die sich mehr und mehr gegen das Schwarz verbreitete, die Kreise undeutlich machte und das Weiss mit ein wenig Roth und Gelb gefärbt erscheinen liess. Auch fand ich, als ich durch einen Schlitz oder eine rechteckige Oeffnung, noch schmäler als die Pupille meines Auges, blickte, welche ich, parallel den Prismen, dicht vor das Auge hielt, dass ich alsdann die Kreise viel deutlicher sehen und bis zu einer weit grösseren Anzahl erkennen konnte, als sonst.

4. Beobachtung. Um die Reihenfolge der Farben genauer zu untersuchen, welche in dem Maasse, wie die Strahlen immer weniger gegen die Luftschicht geneigt waren, aus den weissen Kreisen entsprangen, nahm ich zwei Objectivgläser, ein planconvexes von einem 14füssigen Teleskop und ein grosses biconvexes von einem etwa 50füssigen, legte auf dieses das

Digitized by Google

erstere mit seiner ebenen Fläche nach unten und drückte beide sanft an einander, um die Farben nach und nach in der Mitte der Kreise hervortreten zu lassen, und hob dann das obere Glas vom unteren, um sie wieder nach und nach verschwinden zu lassen. Die beim Zusammendrücken der Gläser inmitten der anderen zuletzt auftauchende Farbe erschien bei ihrem ersten Auftreten wie ein vom Umfange bis zum Mittelpunkte fast gleichmässig gefärbter Kreis und wurde bei stärkerem Zusammendrücken der Gläser allmählich breiter, bis im Mittelpunkte eine neue Farbe hervortrat und jene dadurch in einen diese neue Farbe einschliessenden Ring überging. Bei noch stärkerem Zusammendrücken der Gläser wuchs der Durchmesser dieses Ringes, während die Breite der Ringfläche abnahm, bis im Mittelpunkte der letzteren eine andere, neue Farbe auftauchte, und so fort. So traten nach und nach eine dritte, eine vierte, eine fünfte und immer neue Farben dort hervor und es entstanden Ringe, welche die innerste Farbe einschlossen, von denen die letzte der schwarze Fleck war. Umgekehrt nahm beim allmählichen Lüften und Abheben des oberen Glases vom unteren der Ringdurchmesser ab, die Breite der Ringe zu, bis allmählich ihre Farben den Mittelpunkt erreichten. Da sie nun von beträchtlicher Breite waren, konnte ich ihr Aussehen leichter wahrnehmen und unterscheiden, als vorher. Durch solche Hülfsmittel fand ich nun ihre Aufeinanderfolge und Dimensionen folgendermaassen.

Zunächst an dem in der Mitte an der Berührungsstelle entstehenden durchsichtigen Fleck folgten Blau, Weiss, Gelb und Roth. Die Menge des Blau war so gering, dass ich es in den durch die Prismen hervorgebrachten Kreisen gar nicht erkennen, noch auch Violett darin unterscheiden konnte, Gelb und Roth aber war ziemlich reichlich vorhanden und erschien fast ebenso ausgedehnt, wie das Weiss, und vier- oder fünfmal mehr, als das Blau. Die nächste Farbenfolge oder Ordnung, welche jene Farben unmittelbar umringte, bestand in Violett, Blau, Grün, Gelb und Roth; alle diese Farben waren reichlich und lebhaft mit Ausnahme des Grün, welches in unbedeutender Menge und blasser und schwächer, als die anderen Farben, auftrat. Von den vier anderen hatte das Violett die geringste Ausdehnung und das Blau weniger, als das Gelb und Roth. Die Farben der dritten Ordnung waren Purpur, Blau, Grün, Gelb und Roth; hier erschien Purpur

Digitized by Google

röthlicher, als das Violett in der vorigen Farbenfolge, und das Grün war viel deutlicher, indem es ebenso lebhaft und reichlich auftrat, wie irgend eine der anderen Farben, ausser Gelb; das Roth aber war ein wenig blass und neigte sehr zu Purpur. Hierauf folgte der vierte Farbenring: Grün und Roth. Dieses Grün war sehr intensiv und lebhaft, und neigte auf der einen Seite zum Blau, auf der anderen zu Gelb. In dieser vierten Ordnung war weder Violett und Blau, noch Gelb enthalten, und das Roth war sehr unvollkommen und unrein. Auch die noch folgenden Farben wurden immer unvollkommener und schwächer, bis sie nach der dritten und vierten Folge in vollkommenem Weiss endigten. Gestalt und Aus-

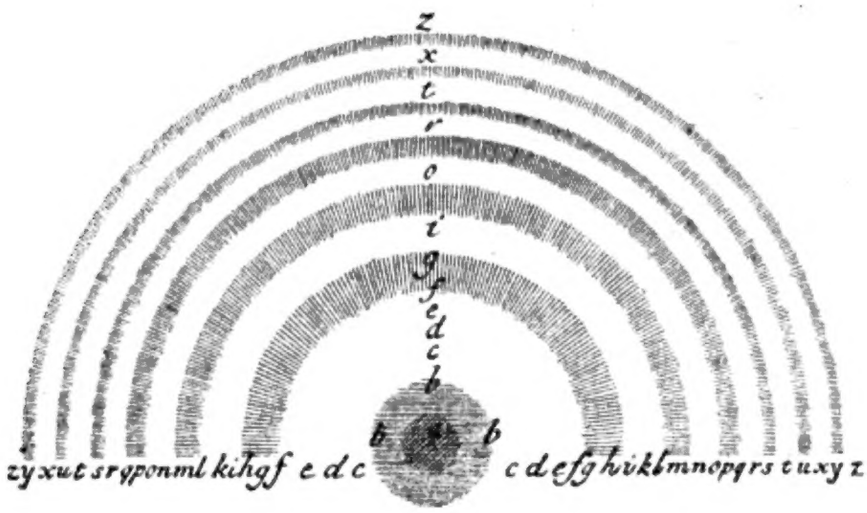

Fig. 2.

sehen dieser Farbenringe, wenn die Gläser so weit zusammengedrückt waren, dass sie in der Mitte den dunklen Fleck zeigten, sind in Fig. 2 gezeichnet, wo *a*, *b*, *c*, *d*, *e*; *f*, *g*, *h*, *i*, *k*; *l*, *m*, *n*, *o*, *p*; *q*, *r*; *s*, *t*; *u*, *x*; *y*, *z* der Reihe nach die vom Mittelpunkte aus gerechneten Farben Schwarz, Blau, Weiss, Gelb, Roth; Violett, Blau, Grün, Gelb, Roth; Purpur, Blau, Grün, Gelb, Roth; Grün, Roth; Grünlich-Blau, Roth; Grünlich-Blau, Blassroth; Grünlich-Blau, Röthlich-Weiss bedeuten.

5. Beobachtung. Um den Zwischenraum zwischen den Gläsern oder die Dicke der zwischenliegenden Luftschicht zu bestimmen, durch welche die Farben erzeugt wurden, mass ich die Durchmesser der ersten sechs Ringe an der hellsten Stelle ihres Umfangs, quadrirte diese und fand, dass diese Quadrate die arithmetische Reihe der ungeraden Zahlen

Digitized by Google

1, 3, 5, 7, 9, 11 bildeten. Da nun eines der Gläser eben, das andere sphärisch war, so mussten die Zwischenräume bei den Ringen die nämliche Progression bilden. Hierauf mass ich die Durchmesser der dunklen und matten Ringe zwischen den hellen Farben und fand, dass ihre Quadratzahlen die arithmetische Reihe der geraden Zahlen 2, 4, 6, 8, 10, 12 bildeten. Da es indessen bedenklich und schwierig ist, solche Maasse genau zu nehmen, wiederholte ich die Messungen verschiedene Male an verschiedenen Stellen der Gläser, um durch ihre Uebereinstimmung von ihrer Richtigkeit überzeugt zu werden. Ebenso verfuhr ich bei mehreren anderen Messungen, die ich bei den folgenden Beobachtungen vornahm.

6. Beobachtung. Der Durchmesser des sechsten Ringes war an der hellsten Stelle seines Umfangs $\frac{58}{100}$ Zoll und der Durchmesser der Kugel, nach welcher das biconvexe Objectivglas gearbeitet war, betrug etwa 102 Fuss. Daraus leitete ich die Dicke der Luft oder des lufterfüllten Zwischenraumes zwischen den beiden Gläsern bei diesem Ringe ab. Einige Zeit später hegte ich den Verdacht, bei dieser Beobachtung den Durchmesser der Kugel nicht genau genug bestimmt zu haben, und wurde unsicher, ob das planconvexe Glas auch wirklich ganz eben und nicht etwa an dieser Seite ein wenig concav oder convex wäre, und ob ich auch die Gläser nicht verdrückt hätte, wie dies oft eintrat, wenn sie sich berühren sollten (denn beim Zusammendrücken solcher Gläser weichen ihre Theilchen leicht nach innen zurück und die Ringe fallen viel breiter aus, als wenn die Gläser ihre Gestalt bewahrt hätten); ich wiederholte daher den Versuch und fand den Durchmesser des sechsten hellen Ringes etwa $= \frac{55}{100}$ Zoll. Ferner wiederholte ich den Versuch mit dem Objectivglase eines anderen Fernrohres, wie ich es gerade zur Hand hatte. Es war dies ein biconvexes Glas, dessen beide Seiten nach derselben Kugel gearbeitet waren, und dessen Brennweite etwa $83\frac{2}{5}$ Zoll betrug. Daraus ergiebt sich, wenn man als das Verhältniss der Sinus des Einfalls und der Brechung für das helle gelbe Licht 11 : 17 annimmt, mittelst Rechnung der Durchmesser der Kugel, aus welcher das Glas gearbeitet war, zu 182 Zoll. Ich legte dieses Glas auf ein anderes ebenes Glas, so dass ohne Anwendung eines anderen

Digitized by Google

Druckes, als des eigenen Gewichts des Glases, der dunkle Fleck inmitten der farbigen Ringe erschien. Nun mass ich den Durchmesser des fünften dunklen Ringes so genau wie möglich und fand ihn $= \frac{1}{5}$ Zoll. Diese Messung machte ich mit den Zirkelspitzen an der oberen Fläche des oberen Glases, während ich das Auge etwa 8—9 Zoll vom Glase senkrecht darüber hielt; das Glas war $\frac{1}{6}$ Zoll dick. Daraus ergiebt sich leicht, dass der wahre Durchmesser des Ringes zwischen den Gläsern etwa im Verhältnisse 80 : 79 grösser war, als der oberhalb des Glases gemessene, und mithin $\frac{1}{7}\frac{6}{9}$ Zoll betrug und sein Halbmesser $\frac{8}{7}\frac{}{9}$ Zoll. Wie sich nun der Durchmesser der Kugel (182 Zoll) zum Halbmesser des fünften dunklen Ringes ($\frac{8}{7}\frac{}{9}$ Zoll) verhält, ebenso verhält sich dieser Halbmesser zur Dicke der Luftschicht beim fünften dunklen Ringe, d. h. diese Dicke beträgt $\frac{32}{567931}$ oder $\frac{100}{1774781}$ Zoll, und der fünfte Theil davon, d. i. $\frac{1}{88739}$ Zoll ist die Dicke der Luftschicht beim ersten dunklen Ringe.

Denselben Versuch wiederholte ich mit einem anderen biconvexen Objectivglase, welches auf beiden Seiten gleiche Krümmung besass. Seine Brennweite war $168\frac{1}{2}$ Zoll und folglich der Durchmesser der dieser Krümmung entsprechenden Kugel 184 Zoll. Wurde dieses Glas auf dasselbe ebene Glas gelegt, so war der Durchmesser des fünften dunklen Ringes, wenn der dunkle Fleck ohne irgend einen Druck der Gläser auftrat, nach Messung mit dem Zirkel auf dem oberen Glase $\frac{1}{6}\frac{2}{0}\frac{1}{0}$ Zoll, mithin zwischen den Gläsern $\frac{1}{6}\frac{2}{0}\frac{2}{0}\frac{2}{0}$ Zoll; denn das obere Glas war $\frac{1}{8}$ Zoll dick und mein Auge 8 Zoll davon entfernt. Zu dem Durchmesser der Kugel und dem Halbmesser dieses Ringes ist aber die dritte Proportionale $\frac{5}{88850}$ Zoll. Dies ist also die Dicke der Luftschicht bei diesem Ringe, und $\frac{1}{5}$ davon, nämlich $\frac{1}{88850}$ Zoll, die Dicke beim ersten Ringe, — wie oben.

Das Nämliche prüfte ich dadurch, dass ich diese Objectivgläser auf ebene Stücke von Spiegelglas legte, und fand die nämlichen Maasse für die Ringe; ich halte sie deshalb für zuverlässig, bis man sie einmal durch Gläser bestimmen kann, deren Krümmungen noch grösseren Kugeln angehören; freilich

Digitized by Google

ist bei solchen auf die Vollkommenheit der ebenen Fläche noch viel grössere Sorgfalt zu verwenden.

Jene Maasse waren genommen, indem ich mein Auge fast senkrecht über die Gläser, etwa 1—1¼ Zoll vom einfallenden Strahle entfernt und 8 Zoll weit vom Glase hielt, so dass die Strahlen gegen das Glas unter einem Winkel von ungefähr 4° geneigt waren. Daher wird man aus der nachfolgenden Beobachtung ersehen, dass, wenn die Strahlen zu den Gläsern senkrecht gewesen wären, die Dicke der Luft bei diesen Ringen im Verhältnisse des Radius zur Secante von 4° geringer gewesen wäre, d. i. im Verhältnisse von 10000 : 10024. Man vermindere also die angeführten Dicken nach diesem Verhältnisse, so werden sie $\frac{1}{88952}$ und $\frac{1}{89063}$ oder, um die nächste runde Zahl anzuwenden, $\frac{1}{89000}$ Zoll betragen. Dies ist die Dicke der Luft an der dunkelsten Stelle des ersten dunklen Ringes, wie er durch senkrecht einfallende Strahlen entsteht; die Hälfte dieser Dicke, mit den Gliedern der Progression 1, 3, 5, 7, 9, 11, ... multiplicirt, giebt die Dicken der Luft an den hellsten Stellen aller hellen Ringe, nämlich $\frac{1}{178000}$, $\frac{3}{178000}$, $\frac{5}{178000}$, $\frac{7}{178000}$, ..., und die arithmetischen Mittel zwischen ihnen, $\frac{2}{178000}$, $\frac{4}{178000}$, $\frac{6}{178000}$, ... geben die Dicken an den dunkelsten Stellen der dunklen Ringe.

7. Beobachtung. Die Ringe waren am kleinsten, wenn mein Auge senkrecht über den Gläsern in der Axe der Ringe stand; blickte ich schief auf dieselben, so wurden sie grösser und verbreiterten sich in dem Maasse, wie ich das Auge von der Axe entfernte. Indem ich nun den Durchmesser der nämlichen Kreise bald bei verschiedenen Neigungen des Auges, bald durch andere Hülfsmittel, wie z. B. durch Benutzung der beiden Prismen unter sehr starker Neigung, mass, fand ich ihre Durchmesser und damit auch die Dicke der Luftschicht an dem Umfange bei allen diesen Neigungen nahezu in dem durch die folgende Tabelle ausgedrückten Verhältnisse:

Winkel des Einfalls gegen die Luft	Brechungswinkel in der Luft	Ringdurchmesser	Dicke der Luftschicht
0° 0′	0°	10	10
6 26	10	$10\frac{1}{13}$	$10\frac{2}{13}$
12 45	20	$10\frac{1}{3}$	$10\frac{2}{3}$
18 49	30	$10\frac{3}{4}$	$11\frac{1}{2}$
24 30	40	$11\frac{2}{5}$	13
29 37	50	$12\frac{1}{2}$	$15\frac{1}{2}$
33 58	60	14	20
35 47	65	$15\frac{1}{4}$	$23\frac{1}{4}$
37 19	70	$16\frac{4}{5}$	$28\frac{1}{4}$
38 33	75	$19\frac{1}{4}$	37
39 27	80	$22\frac{6}{7}$	$52\frac{1}{4}$
40 0	85	29	$84\frac{1}{13}$
40 11	90	35	$122\frac{1}{2}$

In den beiden ersten Colonnen sind die Neigungen der einfallenden und austretenden Strahlen gegen die Luftlamelle enthalten, d. h. die Einfalls- und Brechungswinkel; in der dritten ist der Durchmesser irgend eines farbigen Ringes für diese Neigungen in Theilen ausgedrückt, von denen 10 diesen nämlichen Durchmesser bei senkrechtem Einfall der Strahlen ausmachen: in der vierten Colonne ist die Dicke der Luftschicht am Umfange dieses Ringes ebenfalls in solchen Theilen angegeben, von denen 10 die Dicke ausmachen, wenn die Strahlen senkrecht einfallen.

Aus diesen Maassen glaube ich folgende Regel entnehmen zu können: die Dicke der Luft ist der Secante eines Winkels proportional, dessen Sinus eine gewisse mittlere Proportionale zwischen dem Sinus des Einfalls und dem der Brechung ist. Diese mittlere Proportionale ist, soweit ich sie durch diese Messungen bestimmen kann, das erste von 106 arithmetischen Mitteln [1]) zwischen jenen Sinus, vom grössten Sinus an gerechnet, d. h. vom Sinus der Brechung, wenn sie aus Glas in Luft erfolgt, oder vom Sinus des Einfalls aus Luft in Glas.

8. Beobachtung. Auch der dunkle Fleck inmitten der Ringe wurde beim schiefen Daraufblicken grösser, wenn auch fast unmerklich. Benutzt man aber statt der Objectivgläser die Prismen, so wird seine Zunahme deutlicher, wenn man so schief hinsieht, dass keine Farben um ihn herum auftreten.

Er war am kleinsten, wenn die Strahlen so schief als möglich auf die zwischenliegende Luft fielen, und wuchs in dem Maasse, als diese Neigung abnahm, immer mehr, bis die farbigen Ringe zum Vorschein kamen; dann nahm er wieder ab, aber nicht so viel, als er vorher zugenommen hatte. Daraus ist klar, dass die Durchsichtigkeit nicht bloss genau an der Berührungsstelle der Gläser eintrat, sondern auch da, wo schon ein geringer Zwischenraum war. Ich habe bisweilen beobachtet, dass der Durchmesser dieses Flecks zwischen der Hälfte und $\frac{2}{3}$ vom Durchmesser des äusseren Umfangs des Roth der ersten Ordnung war, wenn man fast senkrecht darauf blickte, während er dagegen beim schiefen Daraufsehen gänzlich verschwand und, wie die anderen Theile des Glases, dunkel und weiss wurde, woraus dann geschlossen werden kann, dass die Gläser sich kaum oder gar nicht berührten, und der Zwischenraum zwischen ihnen bei der Peripherie dieses senkrecht betrachteten Flecks ungefähr der fünfte oder sechste Theil von dem Zwischenraume beim Umfange des erwähnten Roth ist.

9. Beobachtung. Indem ich durch die beiden sich berührenden Objectivgläser blickte, fand ich, dass die dazwischen befindliche Luft auch bei durchgehendem, ebenso wie bei reflectirtem Lichte Farbenringe zeigte. Der centrale Fleck war dann weiss, und die Reihenfolge der Farben von hier aus war: Gelblich-Roth; Schwarz, Violett, Blau, Weiss, Gelb, Roth; Violett, Blau, Grün, Gelb, Roth u. s. w. Diese Farben

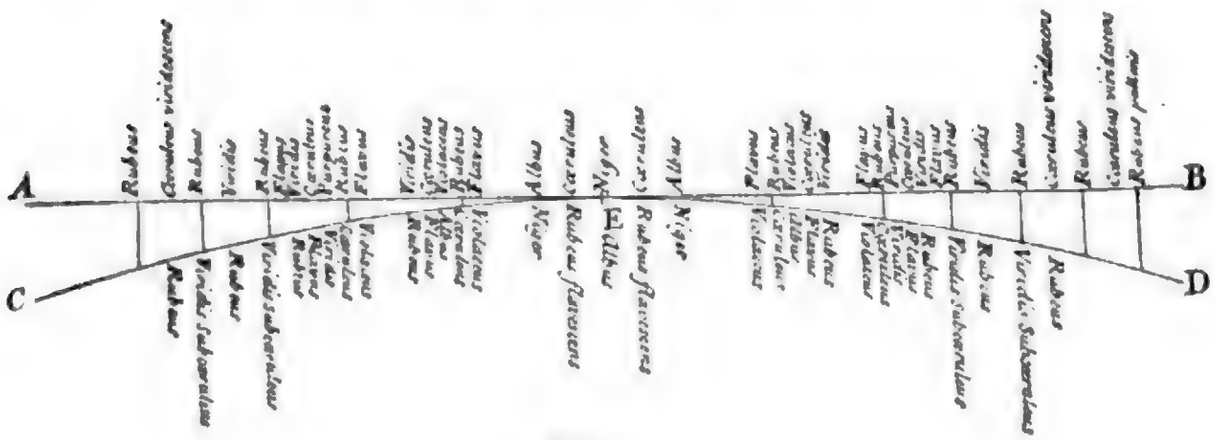

Fig. 3.

waren jedoch matt und schwach, wenn nicht das Licht in sehr schiefer Richtung durch die Gläser gelassen wurde; dadurch aber wurden sie ziemlich lebhaft; nur das erste Gelblich-Roth war, wie das Blau in der 4. Beobachtung, so schwach,

dass es kaum zu unterscheiden war. Die Vergleichung der durch Reflexion entstehenden Farbenringe mit den im durchgelassenen Lichte hervorgerufenen ergab, dass das Weiss dem Schwarz, das Roth dem Blau, Gelb dem Violett und Grün einer Mischung von Roth und Violett als Umkehrung entsprach, d. h. diejenigen Theile des Glases waren beim Hindurchsehen schwarz, die beim Daraufblicken weiss erschienen, und umgekehrt. Ebenso waren die, welche in dem einen Falle Blau zeigten, im andern Falle roth, und ebenso bei den übrigen Farben. Man sieht dies in der Fig. 3 dargestellt, wo AB, CD die Oberflächen der sich bei E berührenden Gläser und die schwarzen Linien dazwischen ihre Abstände in arithmetischer Progression bedeuten, und auf der einen Seite die bei reflectirtem Lichte, auf der anderen die bei durchgehendem Lichte auftretenden Farben angegeben sind.

10. Beobachtung. Wenn ich die Gläser an ihren Rändern etwas befeuchtete, so zog sich das Wasser langsam zwischen sie hinein und die Kreise wurden dadurch kleiner und die Farben schwächer, so dass, als das Wasser sich weiter hineinzog, die eine Hälfte der Ringe, bei der es zuerst anlangte, sich von der anderen zu trennen und auf einen kleineren Raum zusammenzuziehen schien. Als ich diese Ringe mass, fand ich das Verhältniss ihrer Durchmesser zu den Durchmessern der nämlichen, von der Luft gebildeten Kreise etwa wie 7 : 8, und mithin die Zwischenräume der Gläser bei denselben durch Wasser und durch Luft hervorgerufenen Ringen wie 3 : 4. Es mag vielleicht eine allgemeine Regel sein, dass, wenn irgend ein anderes Medium, welches dichter oder weniger dicht, als Wasser ist, zwischen die beiden Gläser gedrückt wird, die Zwischenräume bei den so erzeugten Ringen zu den nämlichen, durch zwischenliegende Luft entstehenden sich verhalten, wie die Sinus, welche die Brechung aus diesem Medium in Luft messen.

11. Beobachtung. Wenn zwischen den Gläsern Wasser war und ich das obere Glas verschiedentlich an den Rändern drückte, um die Ringe rasch ihre Stelle ändern zu lassen, folgte ein kleiner, weisser Fleck unmittelbar ihrem Mittelpunkte, der aber durch Hineindringen des umgebenden Wassers alsbald verschwand. Er sah so aus und zeigte auch die nämlichen Farben, als ob die zwischenliegende Luft ihn hervorgerufen hätte. Aber es war nicht Luft, denn wenn irgendwo kleine Luftbläschen im Wasser vorhanden waren, so ver-

schwanden diese nicht. Die Reflexion muss eher durch irgend ein feineres Medium entstanden sein, welches beim Vordringen des Wassers durch die Gläser entweichen konnte.

12. Beobachtung. Diese Beobachtungen waren bei hellem Tageslichte angestellt worden. Um aber weiter die Wirkungen von auf die Gläser fallendem farbigen Lichte zu untersuchen, verdunkelte ich das Zimmer und betrachtete die Erscheinung in dem reflectirten Lichte der Farben, die ein Prisma auf einen weissen Papierbogen warf, indem ich das Auge so hielt, dass ich das farbige Papier durch Reflexion in den Gläsern, wie in einem Spiegel erblickte. Dadurch wurden die Ringe deutlicher und in grösserer Anzahl sichtbar, als bei Tageslicht. Ich habe manchmal mehr als 20 gesehen, während ich im Tageslichte nicht über 8 oder 9 unterscheiden konnte.

13. Beobachtung. Ich liess einen Assistenten das Prisma um seine Axe hin und her drehen, so dass die Farben der Reihe nach auf diejenige Stelle des Papiers fielen, wo ich durch Spiegelung den Theil der Gläser erblickte, auf dem die Kreise erschienen, und dass der Reihe nach alle Farben von diesen Kreisen her in mein unbeweglich gehaltenes Auge reflectirt wurden. Dabei fand ich, dass die vom rothen Lichte erzeugten Kreise sichtlich grösser waren, als die vom blauen und violetten Lichte herrührenden; und es war sehr hübsch anzusehen, wie sie sich je nach Aenderung der Farbe des Lichts allmählich verbreiterten und zusammenzogen. Der Zwischenraum zwischen den Gläsern an der Stelle irgend eines Ringes, der durch das äusserste rothe Licht hervorgerufen ward, stand zu dem Zwischenraume bei demselben, vom äussersten Violett erzeugten Ringe in einem Verhältnisse, welches grösser war als 3 : 2 und kleiner als 13 : 8. Nach der Mehrzahl meiner Beobachtungen war dieses Verhältniss 14 : 9. Bei allen Neigungen des Auges schien dieses Verhältniss sehr nahe dasselbe, ausser wenn statt der Objectivgläser Prismen benutzt wurden. Denn alsdann schienen bei einer gewissen starken Neigung des Auges die durch verschiedene Farben erzeugten Ringe gleich gross, und bei noch stärkerer Neigung waren die vom Violett erzeugten grösser, als die nämlichen vom Roth gebildeten Ringe, da in diesem Falle die Brechung durch das Prisma zur Folge hatte, dass die brechbarsten Strahlen schiefer auf die Luftschicht fielen, als die am wenigsten brechbaren. So war der Erfolg des Versuchs im farbigen Lichte, wenn dieses hell und reichlich

genug war, um die Ringe wahrnehmbar zu machen. Daraus kann geschlossen werden, dass, wenn die brechbarsten und die wenigst-brechbaren Strahlen reichlich genug gewesen wären, um die Ringe ohne Beimischung anderer Strahlen sichtbar zu machen, das Verhältniss, welches hier 14 : 9 war, ein wenig grösser, etwa $14\frac{1}{4}$ oder $14\frac{1}{3}$: 9 gewesen wäre.

14. Beobachtung. Während das Prisma in gleichförmiger Bewegung um seine Axe gedreht wurde, um alle die verschiedenen Farben der Reihe nach auf die Objectivgläser fallen und die Ringe dadurch sich zusammenziehen und verbreitern zu lassen, war die Zusammenziehung und Verbreiterung jedes dieser Ringe durch Veränderung seiner Farbe am raschesten bei Roth, am langsamsten bei Violett, und hatte bei den zwischenliegenden Farben eine mittlere Geschwindigkeit. Als ich die Stärke dieser Zusammenziehung und Verbreiterung bei allen Graden jeder Farbe mit einander verglich, fand ich sie bei Roth am grössten, kleiner bei Gelb, noch kleiner bei Blau und am kleinsten bei Violett. Um, so gut ich konnte, eine Schätzung des Verhältnisses zwischen den Aenderungen zu machen, beobachtete ich, dass die ganze Zusammenziehung oder Verbreiterung des Durchmessers eines durch alle Grade des Roth entstandenen Ringes sich zu der des Durchmessers desselben Ringes, wenn er durch alle Grade des Violett gebildet wurde, ungefähr wie 4 : 3 verhielt, oder wie 5 : 4, und dass, wenn das Licht eine mittlere Farbe zwischen Gelb und Grün besass, der Durchmesser des Ringes sehr nahe das arithmetische Mittel zwischen dem grössten Durchmesser desselben, vom äussersten Roth gebildeten und dem kleinsten Durchmesser des nämlichen, vom äussersten Violett gebildeten Ringes war, — ganz entgegengesetzt zu dem, was bei den Farben des länglichen, durch Brechung im Prisma entstehenden Spectrums eintritt, wo das Roth am meisten zusammengezogen, das Violett am meisten ausgebreitet ist, und wo in der Mitte von allen Farben die Grenze zwischen Grün und Blau liegt. Daraus glaube ich schliessen zu können, dass die Dicken der Luft zwischen den Gläsern dort, wo der Ring der Reihe nach durch die Grenzen der 5 Hauptfarben (Roth, Gelb, Grün, Blau, Violett) gebildet wird, der Reihe nach (d. h. vom äussersten Roth, von der Grenze zwischen Roth und Gelb in der Mitte des Orange, von der Grenze zwischen Gelb und Grün, von der zwischen Grün und Blau, von der Grenze zwischen Blau und Violett in der Mitte des Indigo,

und vom äussersten Violett) sich sehr nahe zu einander verhalten, wie die 6 Saitenlängen, welche die Noten bis zur grossen Sexte *C*, *D*, *E*, *F*, *G*, *A* angeben. Noch besser stimmt es mit der Beobachtung überein, wenn man sagt, die Dicken der Luft zwischen den Gläsern an den Stellen, wo die Ringe der Reihe nach von den Grenzen der 7 Farben Roth, Orange, Gelb, Grün, Blau, Indigo, Violett gebildet werden, verhalten sich zu einander, wie die Kubikwurzeln aus den Quadraten der 8 Saitenlängen der Töne einer Octave [2]) *C*, *D*, *E*, *F*, *G*, *A*, *B*, *c*, d. h. wie die Kubikwurzeln aus den Quadraten der Zahlen 1, $\frac{8}{9}$, $\frac{5}{6}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{5}$, $\frac{9}{16}$, $\frac{1}{2}$.

15. Beobachtung. Diese Ringe waren nicht, wie die bei Tageslichte entstehenden, von verschiedener Farbe, sondern erschienen durchaus in derjenigen prismatischen Farbe, mit welcher sie beleuchtet wurden. Wenn ich die prismatische Farbe unmittelbar auf die Gläser warf, fand ich, dass das auf die dunklen Räume zwischen den farbigen Ringen fallende Licht ohne irgend eine Aenderung seiner Farbe durch die Gläser hindurchgelassen wurde. Denn auf einem dahinter gehaltenen weissen Papiere riefen sie Ringe von der nämlichen Farbe, in der sie reflectirt wurden, und mit denselben Zwischenräumen hervor. Daher ist der Ursprung dieser Ringe klar, dass nämlich die Luft zwischen den Gläsern je nach ihrer verschiedenen Dicke geneigt ist, das Licht irgend einer

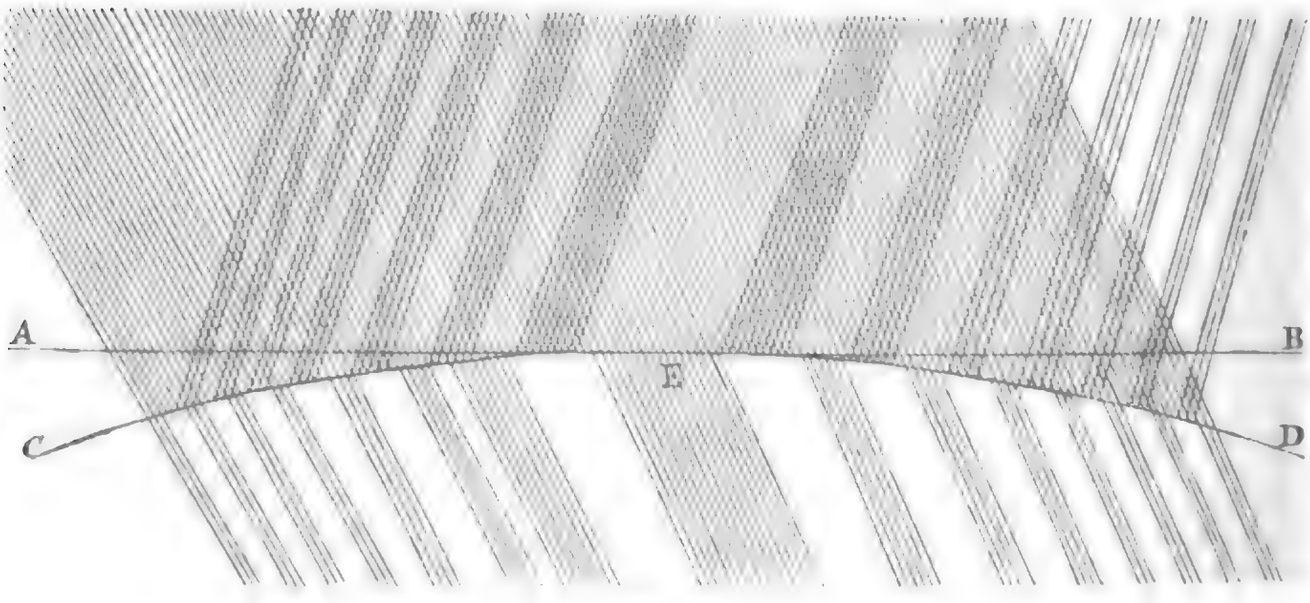

Fig. 4.

Farbe an einigen Stellen zu reflectiren, an anderen durchzulassen, wie Fig. 4 darstellt, und an derselben Stelle das Licht

der einen Farbe zu reflectiren, während sie das einer anderen Farbe durchlässt.

16. Beobachtung. Die Quadrate der Durchmesser der von irgend einer prismatischen Farbe gebildeten Ringe stellten, wie bei der 5. Beobachtung, eine arithmetische Progression dar. Der Durchmesser des sechsten Kreises war, wenn er vom Citrongelb gebildet und fast senkrecht betrachtet wurde, ungefähr $\frac{58}{100}$ Zoll oder etwas weniger, gemäss der 6. Beobachtung.

Die bisherigen Beobachtungen waren mit einem dünneren Medium, das von einem dichteren begrenzt war, angestellt, wie z. B. Luft oder Wasser, zwischen zwei Gläser gepresst. In dem Folgenden sind die Erscheinungen auseinandergesetzt, wie sie für dünne Schichten eines dichteren Mediums ausfallen, welches von einem dünneren umgeben ist, wie etwa Glimmerblättchen [Muscovy Glass], Seifenblasen und manche andere dünne Substanzen, die allseitig von Luft begrenzt sind.

17. Beobachtung. Wenn man Wasser, welches man durch vorheriges Auflösen von etwas Seife einigermaassen zähflüssig gemacht hat, zu einer Blase aufbläst, so ist es eine allgemein bekannte Beobachtung, dass diese nach einiger Zeit mannigfach gefärbt erscheint. Um solche Blasen vor Bewegungen durch die Luft zu schützen (wodurch die Farben unregelmässig durch einander bewegt wurden, so dass man keine genaue Beobachtung an ihnen machen konnte), bedeckte ich, sobald ich eine aufgeblasen hatte, diese mit einem durchsichtigen Glase. Dadurch kamen die Farben in ganz regelmässiger Reihenfolge zum Vorschein, wie ebensoviele concentrische, den höchsten Punkt der Blase umgebende Ringe. Und in dem Maasse, wie das Wasser beständig nach unten sank und die Blase dünner wurde, breiteten sich die Ringe langsam aus und überzogen die ganze Blase, indem sie der Reihe nach bis zum untersten Punkte hinabstiegen, wo sie einer nach dem anderen verschwanden. Inzwischen entstand, nachdem am obersten Punkte alle Farben erschienen waren, im Centrum der Ringe ein kleiner, runder, schwarzer Fleck, wie jener in der 1. Beobachtung, welcher sich beständig ausbreitete, bis er manchmal einen Durchmesser von mehr als $\frac{1}{2}$ oder $\frac{3}{4}$ Zoll hatte, bevor die Blase zersprang. Anfangs glaubte ich, das Wasser reflectire an dieser Stelle kein Licht, bei genauerer Beobachtung aber erblickte ich innerhalb derselben mehrere kleinere runde Flecke, die viel schwärzer und

dunkler, als jener, erschienen, und erkannte daraus, dass einige Reflexion an den anderen Stellen stattfand, die nicht so dunkel waren, wie jene Flecke. Durch weitere Versuche fand ich, dass ich die Bilder mancher Gegenstände (einer Kerze oder der Sonne) nicht nur von dem grossen schwarzen Flecke, sondern auch von den kleineren, dunkleren Flecken im Innern desselben ganz schwach gespiegelt sehen konnte.

Ausser den erwähnten farbigen Ringen traten oft kleine farbige Flecke auf, die an den Seiten der Blase auf- und abstiegen in Folge gewisser Ungleichheiten in dem Herabfliessen des Wassers. Bisweilen stiegen auch kleine schwarze Flecke, die an den Seiten entstanden, zu dem grösseren schwarzen Fleck am obersten Punkte der Blase empor und vereinigten sich mit ihm.

18. Beobachtung. Da die Farben solcher Blasen ausgedehnter und lebhafter sind, als die einer dünnen Luftschicht zwischen zwei Gläsern, und in Folge dessen leichter unterschieden werden können, so will ich hier eine weitere Beschreibung ihrer Reihenfolge geben, wie sie bei Reflexion unter weisslichem Himmelslichte beobachtet wurden, nachdem ein schwarzer Körper hinter der Blase aufgestellt war. Sie waren der Reihe nach folgende: Roth, Blau; Roth, Blau; Roth, Blau; Roth, Grün; Roth, Gelb, Grün, Blau, Purpur; Roth, Gelb, Grün, Blau, Violett; Roth, Gelb, Weiss, Blau, Schwarz.

Die drei ersten Folgen von Roth und Blau waren sehr schwach und unrein, besonders die erste, wo das Roth wie ein mattes Weiss erschien. Unter ihnen war kaum eine andere Farbe ausser Roth und Blau zu erkennen, nur dass das Blau (zumal das zweite Blau) ein wenig zum Grün neigte.

Das vierte Roth war ebenfalls schwach und unrein, wenn auch nicht so sehr, wie die ersten drei; darauf folgte ganz wenig oder gar kein Gelb, aber eine Menge Grün, welches zuerst ein wenig ins Gelb neigte, dann ein ziemlich lebhaftes, gutes Weidengrün wurde und nachher in eine bläuliche Farbe überging, der aber weder Blau noch Violett folgten.

Das Roth der fünften Reihe neigte zuerst sehr zu Purpur und wurde nachher heller und lebhafter, aber doch nicht ganz rein. Hierauf folgte ein sehr helles und intensives Gelb, jedoch in geringer Menge und bald in Grün übergehend. Dieses Grün aber war reichlich und etwas reiner, tiefer und lebhafter, als das vorige Grün. Auf dieses folgte ein aus-

Digitized by Google

gezeichnetes Blau, ein glänzendes Himmelblau, und dann Purpur von geringerer Menge, als das Blau, und sehr nach Roth geneigt.

Das Roth der sechsten Ordnung war zuerst ein schönes, lebhaftes Scharlach und bald nachher von einer helleren Farbe, die sehr rein und lebhaft und das beste unter allen den Roth war. Sodann folgte auf ein lebhaftes Orange ein intensives, helles und reichliches Gelb, welches ebenfalls das beste unter allen den Gelb war. Dieses veränderte sich zuerst zu einem Grünlich-Gelb und dann zu Grünlich-Blau, doch war das Grün zwischen dem Gelb und Blau gering und so schwach, dass es eher ein grünliches Weiss, als ein Grün schien. Das nachfolgende Blau wurde recht gut und wurde ein sehr schönes, helles Himmelblau, wenn auch unbedeutender, als das vorige Himmelblau; das Violett war intensiv und dunkel mit wenig oder keinem Roth darin, übrigens auch quantitativ geringer als das Blau.

Das Roth der letzten Reihe erschien in einer dem Violett nahe stehenden Scharlachfarbe, die alsbald in eine hellere, zu Orange neigende Farbe überging; das darauf folgende Gelb war zuerst ziemlich gut und lebhaft, wurde aber nachher schwach, bis es allmählich in völligem Weiss endete. Wenn nun das Wasser recht zähflüssig und von richtiger Mischung war, so verbreitete sich dieses Weiss langsam über den grössten Theil der Blase, welche oben beständig immer blässer wurde und schliesslich an vielen Stellen zerplatzte; und wie diese Risse sich verbreiterten, erschienen sie von einem recht guten, aber doch dunklen und trüben Himmelblau. Das Weiss zwischen den blauen Flecken verminderte sich, bis es den Fäden eines unregelmässigen Netzwerkes glich, und bald nachher verschwand es und liess den ganzen oberen Theil der Blase in der erwähnten dunkelblauen Farbe zurück. Diese Farbe verbreitete sich in der angegebenen Weise nach unten, bis sie manchmal die ganze Blase überzogen hatte. Inzwischen tauchten an dem obersten Punkte, welcher von dunklerem Blau, als das unterste, und auch voll von vielen runden, blauen, etwas dunkleren Flecken erschien, ein oder mehrere sehr dunkle Flecke auf, und innerhalb dieser wieder andere, noch schwärzere Flecke, wie ich sie in der vorhergehenden Beobachtung erwähnte, und diese breiteten sich beständig aus, bis die Blase platzte.

War das Wasser nicht recht zähflüssig, so brachen die schwarzen Flecke zwischen dem Weiss hervor, und zwar

Digitized by Google

ohne eine bemerkbare Beimischung von Blau. Manchmal brachen sie auch innerhalb des vorhergehenden Gelb oder Roth, oder vielleicht im Blau der zweiten Ordnung hervor, noch ehe die zwischenliegenden Farben Zeit hatten, sich zu entwickeln.

Aus dieser Beschreibung wird man ersehen, wie nahe diese Farben denen verwandt sind, die in der 4. Beobachtung als von der Luft erzeugte beschrieben sind, obgleich sie in umgekehrter Reihenfolge aufgeführt sind, da sie beginnen, wenn die Blase am stärksten ist, und am passendsten vom unteren und dicksten Theile der Blase aus nach oben hin aufgezählt werden.

19. Beobachtung. Indem ich die am höchsten Punkte der Blase auftretenden Farbenringe in verschiedenen schiefen Stellungen des Auges betrachtete, fand ich, dass sie bei wachsendem Neigungswinkel merklich breiter wurden, aber doch bei weitem nicht so breit, wie die durch eine dünne Luftschicht hervorgerufenen in der 7. Beobachtung. Denn dort breiteten sich diese so aus, dass sie bei möglichst schiefer Betrachtung sich bis zu einer Stelle erstreckten, wo die Schicht mehr als 12 mal dicker war als die, wo sie bei senkrechter Betrachtung erschienen, während in diesem Falle die Dicke der Wasserschicht da, wo sie bei möglichst schiefer Betrachtung erschienen, zu der, wo sie bei senkrechter Betrachtung sich zeigten, ein Verhältniss besass, das ein wenig kleiner, als 8 : 5 war. Nach meinen besten Beobachtungen lag es zwischen 15 und $15\frac{1}{2}$ zu 10, so dass das Anwachsen dieser Ringe [im Wasser] etwa 24 mal geringer war, als im ersten Falle [bei Luft].

Manchmal wurde die Blase durchweg von gleicher Dicke, ausser am höchsten Punkte nahe beim schwarzen Fleck, wie ich daraus sah, dass sie bei allen Stellungen des Auges in denselben Farben erschien. Und dann waren die Farben, die an ihrem Umfange durch die am schiefsten auffallenden Strahlen zum Vorschein kamen, von denen verschieden, die bei weniger schiefem Auftreffen an anderen Stellen sichtbar waren. Auch erschien ein und derselbe Theil der Blase verschiedenen Beobachtern von verschiedener Farbe, wenn sie ihn unter verschiedenen Neigungswinkeln betrachteten. Indem ich nun beobachtete, wie an denselben Stellen der Blase oder an Stellen gleicher Dicke die Farben sich mit der Neigung der Strahlen änderten, schloss ich unter Zuhülfenahme der 4., 14., 16. und 18. Beobachtung (wie weiter unten noch erklärt

Digitized by Google

wird), dass die Dicken des Wassers, die zur Hervorrufung einer und derselben Farbe bei den verschiedenen Neigungen erforderlich sind, nahezu in dem durch die folgende Tabelle ausgedrückten Verhältnisse stehen:

Einfall in das Wasser	Brechung im Wasser	Dicke des Wassers
0	0	10
15	11° 11′	$10\frac{1}{4}$
30	22° 1′	$10\frac{1}{3}$
45	32° 2′	$11\frac{1}{3}$
60	40° 30′	13
75	46° 25′	$14\frac{1}{2}$
90	48° 35′	$15\frac{1}{3}$

In den beiden ersten Colonnen stehen die Neigungen der Strahlen gegen die Oberfläche des Wassers, d. h. ihre Einfalls- und Brechungswinkel. Ich nehme dabei an, dass ihre Sinus sich nahezu wie 3 : 4 verhalten, obgleich wahrscheinlich die im Wasser gelöste Seife die brechende Kraft desselben ein wenig ändern wird. In der dritten Colonne ist die Dicke der Seifenblase, durch welche eine gewisse Farbe bei den verschiedenen Neigungen hervorgebracht wird, in solchen Theilen angegeben, von denen 10 die [zur Erzeugung der nämlichen Farbe] bei senkrechtem Einfall erforderliche Dicke bilden. Die[3]) bei der 7. Beobachtung gefundene Regel steht, wenn richtig angewandt, mit diesen Messungen in gutem Einklang, dass nämlich die bei verschiedenen Neigungen des Auges zur Erzeugung einer bestimmten Farbe erforderliche Dicke einer Wasserschicht der Secante eines Winkels proportional ist, dessen Sinus das erste von 106 arithmetischen Mitteln zwischen dem Einfalls- und Brechungssinus ist, vom kleinsten Sinus an gezählt, d. h. vom Sinus der Brechung, wenn dieselbe aus Luft in Wasser, vom Sinus des Einfalls, wenn sie aus Wasser in Luft stattfindet.

Ich habe einige Male beobachtet, dass die Farben, welche an polirtem Stahle entstehen, wenn er erhitzt wird, oder an Glockenmetall oder an manchen anderen metallischen Substanzen, wenn sie geschmolzen und an die Erde geschüttet werden, um an der Luft abzukühlen, sich ganz ähnlich, wie die Farben der Seifenblasen, ein wenig änderten, wenn man sie unter verschiedenen Neigungswinkeln betrachtete, besonders

Digitized by Google

dass ein tiefes Blau oder Violett, von der Seite betrachtet, in ein tiefes Roth überging. Doch sind diese Farbenwechsel nicht so bedeutend und auffallend, wie beim Wasser. Denn die Schlacke oder die verglasten Metalltheile, welche die meisten Metalle beim Erhitzen und Schmelzen beständig nach ihrer Oberfläche herausstossen, und die in Gestalt einer glasigen Haut sie bedeckt und diese Farben hervorruft, ist viel dichter, als das Wasser, und ich fand, dass der durch Neigung des Auges bewirkte Farbenwechsel bei allen dünnen Körperschichten am geringsten ist, wenn die Substanz des Körpers am dichtesten ist.

20. Beobachtung. Wie in der 9. Beobachtung, so erschien auch hier die Blase bei durchgelassenem Lichte in der entgegengesetzten Farbe zu der, die sie bei reflectirtem Lichte zeigte. So z. B. wenn die Blase, im reflectirten Lichte der Wolken betrachtet, an ihrem Umfange roth erschien, wurde bei gleichzeitigem oder rasch folgendem Hindurchblicken nach den Wolken die Farbe an ihrem Umfange blau; und umgekehrt: wenn sie im reflectirten Lichte blau erschien, war sie bei durchgehendem Lichte roth.

21. Beobachtung. Wenn ich sehr dünne Glimmerblättchen, welche ähnliche Farben erscheinen liessen, nass machte, so wurden die Farben schwächer und matter, zumal wenn ich sie an der dem Auge entgegengesetzten Seite benetzte, doch konnte ich irgend eine Aenderung in ihrem Aussehen nicht erkennen. Darnach hängt also die zur Erzeugung einer Farbe erforderliche Dicke des Blättchens nur von der Dichtigkeit desselben, nicht aber von der Dichte des umgebenden Mediums ab. Und mit Hülfe der 10. und der 16. Beobachtung kann hieraus die Dicke ermittelt werden, welche Seifenblasen, Glimmerblättchen oder andere Substanzen zur Hervorbringung irgend einer Farbe haben müssen.

22. Beobachtung. Ein dünner durchsichtiger Körper, welcher dichter ist, als das umgebende Medium, bringt lebhaftere Farben hervor, als einer, der in demselben Verhältnisse dünner ist, wie ich dies besonders bei Glas und Wasser beobachtet habe. Denn wenn ich an einer Gebläselampe Glas sehr dünn aufblies, zeigten diese dünnen Blättchen, von Luft umgeben, viel lebhaftere Farben, als Luft zwischen zwei Glasplatten sie hervorbringt.

23. Beobachtung. Bei Vergleichung der von den verschiedenen Ringen reflectirten Lichtmenge fand ich diese am

grössten beim ersten oder innersten Ringe, in den äusseren Ringen nach und nach immer geringer. Auch das Weiss des ersten Ringes war lebhafter, als das, welches von den ausserhalb des Ringes gelegenen Theilen des dünnen Mediums oder Blättchens reflectirt wurde, wie ich deutlich wahrnehmen konnte, wenn ich die durch zwei Objectivgläser erzeugten Ringe aus der Entfernung betrachtete, oder wenn ich zwei Seifenblasen verglich, die ich so hinter einander aufblies, dass in der ersten das auftretende Weiss allen Farben nachfolgte, in der zweiten allen voranging.

24. Beobachtung. Wenn ich die beiden Objectivgläser auf einander legte, so dass sie die Farbenringe zeigten, konnte ich mit blossem Auge nicht mehr, als 8 oder 9 dieser Ringe erkennen; betrachtete ich sie aber durch ein Prisma, so sah ich eine viel grössere Anzahl, dergestalt, dass ich mehr, als 40 zählen konnte, ungerechnet viele andere, die so schmal und dicht bei einander waren, dass ich das Auge nicht so fest auf jeden einzelnen richten konnte, um sie zu zählen; aber in Betracht ihrer Ausdehnung habe ich sie manchmal auf mehr als 100 geschätzt, und ich bin überzeugt, dass man den Versuch bis zur Entdeckung einer noch grösseren Anzahl vervollkommnen kann. Denn ihre Zahl scheint wirklich unbegrenzt, wenn sie auch durch das Prisma nur insoweit sichtbar werden, als sie durch die Brechung getrennt erscheinen, wie ich dies im Folgenden auseinandersetzen will.

Es war nämlich nur die eine Seite dieser Ringe, und zwar die, gegen welche die Brechung stattfand, die durch diese Brechung deutlich wurde; die andere wurde undeutlicher, als wenn man sie mit blossem Auge betrachtete. Die Abschnitte oder Bogen, die an der anderen Seite so zahlreich auftraten, reichten grösstentheils nicht über den dritten Theil des Kreises hinaus. Wenn die Brechung sehr stark oder das Prisma recht weit von den Objectivgläsern war, wurde der mittlere Theil dieser Kreisbogen ebenfalls undeutlich, bis er verschwand und ein gleichmässiges Weiss ergab, während an beiden Seiten ihre äussersten Enden ebenso, wie die ganzen, vom Mittelpunkte am weitesten entfernten Bogen, deutlicher wurden, als zuvor, und in der in Fig. 5 dargestellten Gestalt erschienen.

Fig. 5.

Da, wo die Bogen am deutlichsten erschienen, waren sie

Digitized by Google

nur abwechselnd weiss und schwarz, ohne Beimischung einer anderen Farbe. An anderen Stellen aber zeigten sie Farben, deren Reihenfolge durch die Brechung dergestalt umgekehrt wurde, dass, wenn ich erst das Prisma ganz nahe an die Objectivgläser hielt und dann allmählich nach dem Auge zu von ihnen entfernte, die Farben des 2., 3., 4. und der folgenden Ringe sich nach dem Weiss hin zusammenzogen, welches zwischen ihnen hervortrat, bis sie im Mittelpunkte der Bogen gänzlich in demselben verschwanden, um nachher wieder in umgekehrter Reihenfolge aufzutauchen. An den Enden der Bogen aber behaupteten sie ihre Reihenfolge unverändert.

Bisweilen habe ich zwei Objectivgläser so auf einander gelegt, dass sie für das blosse Auge überall gleichförmig weiss erschienen und nicht der geringste farbige Ring auftrat; und dennoch entdeckte ich, durch ein Prisma blickend, eine grosse Anzahl solcher Ringe. Ebenso zeigten Glimmerblättchen und mit der Gebläselampe hergestellte Glasblasen, welche nicht dünn genug waren, um dem unbewaffneten Auge irgend welche Farben zu zeigen, durch das Prisma betrachtet, eine grosse Mannigfaltigkeit von Farben, die in Form von Wellen von oben nach unten unregelmässig angeordnet waren. So waren Seifenblasen, noch ehe sie dem blossen Auge eines daneben stehenden Beobachters ihre Farben zeigten, durch ein Prisma betrachtet, bereits ringsum mit parallelen und horizontalen Farbenringen umgürtet. Um diesen Erfolg zu erzielen, musste man das Prisma parallel oder doch fast parallel dem Horizonte halten und zwar so, dass es die Strahlen nach oben brach.

Zweiter Theil.

Bemerkungen zu den vorhergehenden Beobachtungen.

Nachdem ich meine Beobachtungen über diese Farben vorgelegt habe, wird es passend sein, ehe ich sie anwende, um die Ursache der Farben der natürlichen Körper zu erklären, zunächst aus den einfachsten derselben, wie etwa der 2., 3., 4., 9., 12., 18., 20. und 24. Beobachtung, die verwickelteren zu erklären. Um also zuerst zu zeigen, wie in der 4. und 8. Beobachtung die Farben zu Stande kommen, nehme man auf einer geraden Linie vom Punkte Y (Fig. 6) aus die Strecken YA, YB, YC, YD, YE, YF, YG, YH so, dass sie sich der Reihe nach verhalten, wie die Kubikwurzeln

aus den Quadraten der Zahlen $\frac{1}{2}$, $\frac{9}{16}$, $\frac{3}{5}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{5}{6}$, $\frac{8}{9}$, 1, welche die Längen einer Musiksaite darstellen, wenn sie alle Töne einer Octave erklingen lässt, d. i. im Verhältniss der Zahlen 6300, 6814, 7114, 7631, 8255, 8855, 9343, 10000. In den Punkten A, B, C, D, E, F, G, H errichte man Senkrechte Aα, Bβ etc., durch deren Abstände die Ausdehnung der verschiedenen unter der Figur angegebenen Farben dargestellt werden soll. Hierauf theile man die Linie Aα im Verhältniss der Zahlen 1, 2, 3, 5, 6, 7, 9, 10, 11 etc., welche an die Theilpunkte geschrieben werden, und ziehe von Y aus durch diese Theilpunkte die Linien 1I, 2K, 3L, 5M, 6N, 7O etc.

Gesetzt nun, A2 stelle die Dicke irgend eines dünnen, durchsichtigen Körpers an der Stelle vor, wo das äusserste Violett des ersten Ringes oder der ersten Farbenfolge am reichlichsten reflectirt wird, so wird nach der 13. Beobachtung IIK seine Dicke dort sein, wo in

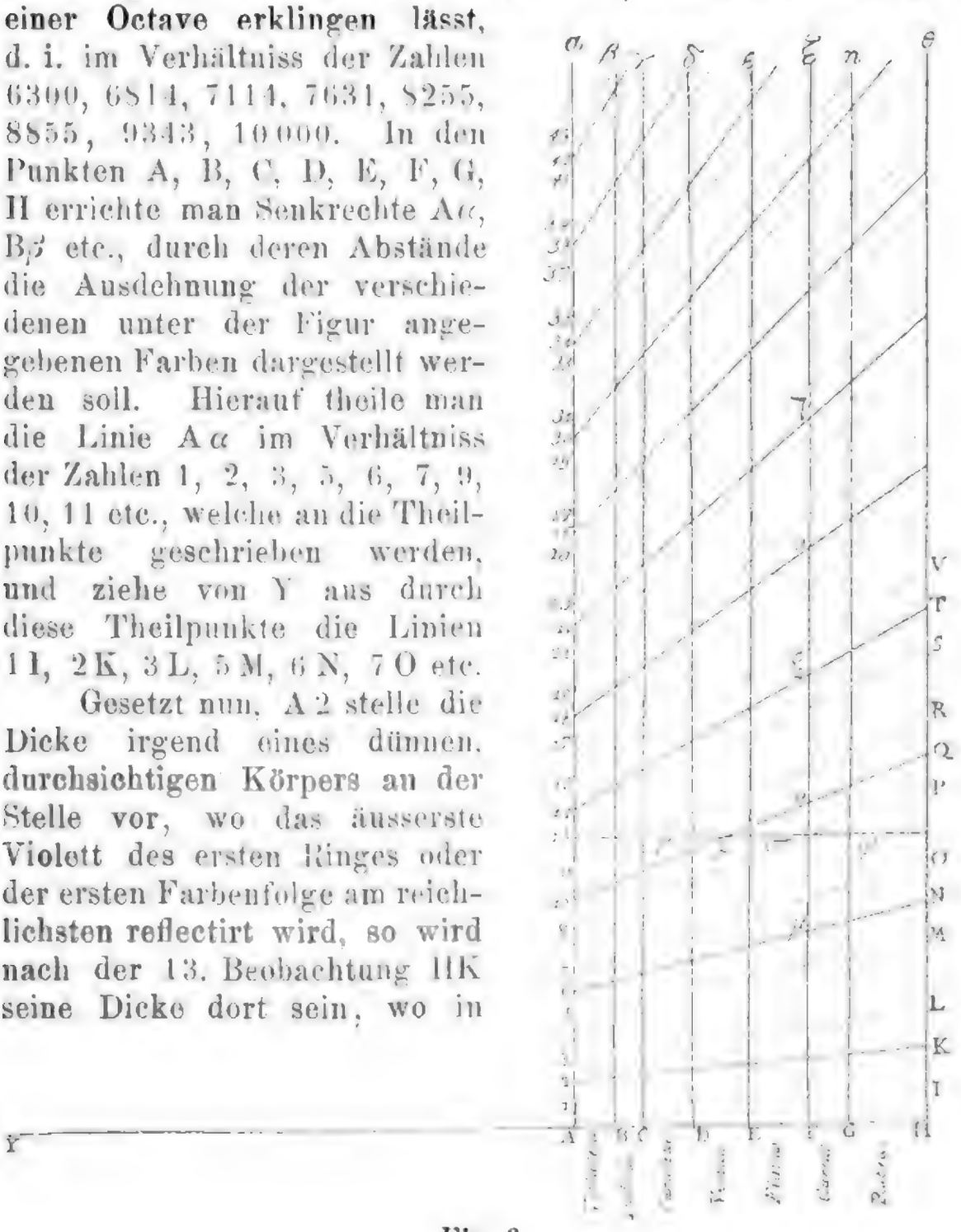

Fig. 6.

der nämlichen Farbenfolge das äusserste Roth am reichlichsten reflectirt wird. Nach der 5. und 16. Beobachtung werden A6 und HN diejenigen Dicken bedeuten, durch welche jene äussersten Farben in der zweiten Farbenfolge, und A10 und HQ diejenigen, durch welche sie in der dritten Farbenfolge am reichlichsten reflectirt werden, und so fort. Die Dicken,

Digitized by Google

durch welche eine der mittleren Farben am reichlichsten reflectirt wird, werden gemäss der 14. Beobachtung durch den Abstand der Linie AH von den zwischenliegenden Theilen der Linien 2K, 6N, 10Q etc. bestimmt sein, bei denen diese Farben darunter mit Namen angeführt sind.

Um aber weiter die Breite dieser Farben in jedem Ringe oder in jeder Farbenreihe zu bestimmen, bezeichne A1 die kleinste, A3 die grösste Dicke da, wo das äusserste Violett der ersten Reihe reflectirt wird, und H1 und HL die nämlichen Grenzwerthe für das äusserste Roth, und die mittleren Farben seien durch die zwischenliegenden Theile der Linien 1I und 3L begrenzt, wo die Namen der Farben daneben geschrieben sind, und so fort, jedoch mit dem Vorbehalt, dass die Reflexionen in den zwischenliegenden Räumen 2K, 6N, 10Q etc. als die stärksten angenommen werden, und dass sie von da allmählich gegen die Grenzen 1I, 3L, 5M, 7O etc. nach beiden Seiten hin abnehmen, wo man sie nicht für ganz genau begrenzt halten darf, sondern für unbestimmt abnehmend. Wenn ich übrigens jeder Farbenfolge die nämliche Breite zugeschrieben habe, obgleich die Farben der ersten Reihe ein wenig breiter erscheinen, als die anderen, weil die Reflexion dort stärker ist, so geschah dies, weil diese Ungleichheit doch so unmerklich ist, dass sie durch die Beobachtungen kaum zu bestimmen ist.

Wenn nun nach dieser Beschreibung einzusehen ist, dass die Strahlen, die ursprünglich von verschiedener Farbe sind, abwechselnd in den Räumen 1IL3, 5MO7, 9PR11 etc. reflectirt und in den Räumen AHI1, 3LM5, 7OP9 etc. durchgelassen werden, so ist leicht zu erkennen, welche Farbe bei irgend einer Dicke des durchsichtigen Körpers in freier Luft erscheinen muss. Denn wenn man ein Lineal parallel AH und in derjenigen Entfernung davon anlegt, welche die Dicke des Körpers darstellt, so werden die abwechselnden Räume 1IL3, 5MO7 etc., welche es durchschneidet, die reflectirten ursprünglichen Farben angeben, aus denen die in der freien Luft auftretende Farbe zusammengesetzt ist. Will man z. B. die Zusammensetzung des Grün in der dritten Reihe wissen, so lege man das Lineal, wie die Figur zeigt, durch $\pi\varrho\sigma\varphi$; weil dann die Linie bei π durch einen Theil des Blau und bei σ durch Gelb, ebenso wie bei ϱ durch das Grün geht, so wird man schliessen können, dass das bei dieser Dicke des Körpers hervortretende Grün in der Hauptsache aus ursprünglichem Grün besteht, jedoch nicht ohne Zumischung von etwas Blau und Gelb.

Digitized by Google

Auf diese Weise kann man erkennen, wie die Farben vom Mittelpunkte der Ringe her in der Ordnung auf einander folgen, wie in der 4. und 18. Beobachtung beschrieben ist. Denn wenn man das Lineal allmählich von AH durch alle Entfernungen bewegt, so wird es, wenn der erste Raum, der noch wenig oder gar keine Reflexion durch die dünnsten Substanzen anzeigt, überschritten ist, bei 1 das Violett erreichen, bald nachher beim Blau und Grün anlangen, die mit diesem Violett ein Blau zusammensetzen, dann beim Gelb und Roth, durch deren Hinzutreten dieses Blau in Weiss verwandelt wird; dieses Weiss bleibt so lange, bis die Kante des Lineals von I bis 3 gelangt, und geht nachher durch das allmähliche Wegfallen der dasselbe zusammensetzenden Farben in ein zusammengesetztes Gelb, dann in Roth über, und endlich verschwindet dieses Roth bei L. Hierauf beginnen die Farben der zweiten Ordnung, die der Reihe nach auftreten, während die Kante des Lineals von 5 bis O geht, und zwar erscheinen sie, weil mehr ausgebreitet und getrennt, viel lebhafter als zuvor. Aus demselben Grunde tritt hier anstatt des früheren Weiss zwischen das Blau und Gelb ein Gemisch von Orange, Gelb, Grün, Blau und Indigo, welche alle zusammen ein verwaschenes und unvollkommenes Grün geben müssen. Ebenso folgen nun die Farben der dritten Ordnung der Reihe nach, zuerst das Violett, welches sich ein wenig mit dem Roth der zweiten Ordnung mischt und daher zu einem röthlichen Purpur neigt, dann das Blau und Grün, welche weniger mit anderen Farben gemischt sind und deshalb, zumal das Grün, lebhafter sind, als zuvor; hierauf folgt das Gelb, von dem ein Theil, nach dem Grün hin, deutlich und gut ist, von dem aber der gegen das nachfolgende Roth hin gelegene Theil sich, ebenso wie dieses Roth, mit dem Violett und Blau der vierten Reihe vermischt, so dass verschiedene, stark zum Purpur neigende Grade des Roth entstehen. Da dieses Violett und Blau, die auf dieses Roth folgen sollten, mit ihm vermischt sind und darin aufgehen, so folgt ein Grün. Dasselbe neigt im Anfange zu Blau, wird aber bald ein gutes Grün, die einzige unvermischte und lebhafte Farbe der 4. Ordnung. Denn sobald es nach dem Gelb zu neigt, beginnt es sich mit den Farben der 5. Serie zu vermischen, wodurch das nachfolgende Gelb und Roth sehr verwaschen und unrein werden, zumal das Gelb, welches als die schwächere Farbe kaum hervorzutreten vermag. Nachher vermischen sich die verschiedenen Farbenringe mehr

Digitized by Google

und mehr, bis nach weiteren drei oder vier Farbenfolgen (in denen abwechselnd Roth und Blau vorherrschen) sämmtliche Farbenarten überall ganz gleichmässig unter einander gemengt sind und ein gleichförmiges Weiss zusammensetzen.

Weil nun nach der 15. Beobachtung die Strahlen einer Farbe an derselben Stelle durchgelassen werden, wo die von einer anderen Farbe reflectirt werden, so ist hieraus die Ursache der in der 9. und 20. Beobachtung vom durchgelassenen Lichte gebildeten Farben klar.

Wenn man nicht bloss die Reihenfolge und Art der Farben, sondern auch die genaue Dicke der Lamelle oder des dünnen Körpers an der Stelle, wo sie auftreten, in Theilen eines Zolles wissen will, so kann man dies ebenfalls mit Hülfe der 6. und 16. Beobachtung erreichen. Denn nach diesen ist die Dicke der dünnen Luftschicht, welche zwischen zwei Gläsern die hellsten Theile der ersten sechs Ringe aufweist,

$$\frac{1}{178\,000'}\quad\frac{3}{178\,000'}\quad\frac{5}{178\,000'}\quad\frac{7}{178\,000'}\quad\frac{9}{178\,000'}\quad\frac{11}{178\,000}$$

Zoll. Angenommen, das bei diesen Dicken am reichlichsten reflectirte Licht sei helles Citrongelb oder die Grenze von Gelb und Orange, so werden diese Dicken sein: $F\lambda$, $F\mu$, $F\xi$, Fo, $F\zeta$. Sobald man dieses weiss, so ist leicht zu bestimmen, welche Dicke der Luft durch $G\varphi$ oder durch einen anderen Abstand des Lineals von AH dargestellt wird.

Da aber ferner nach der 10. Beobachtung die Dicke der Luft zu der des Wassers, welche zwischen den nämlichen Gläsern dieselbe Farbe zeigt, sich wie 4 : 3 verhält, und da nach der 21. Beobachtung die Farben dünner Körper durch eine Aenderung des umgebenden Mediums keine Aenderung erfahren, so wird die Dicke einer Seifenblase, die irgend eine Farbe zeigt, $\frac{3}{4}$ von der Dicke der dieselbe Farbe hervorbringenden Luftschicht betragen. Gemäss dieser 10. und 21. Beobachtung mag somit die Dicke eines Glasblättchens, dessen Brechung für die mittleren Strahlen durch das Verhältniss der Sinus 31 : 20 gemessen wird, $\frac{20}{31}$ von der Dicke der dieselbe Farbe erzeugenden Luftschicht sein, und ähnlich bei anderen Medien. Ich kann nicht behaupten, dass dieses Verhältniss von 20 : 31 für alle Strahlen gilt, denn die Sinus stehen bei anderen Strahlenarten in anderem Verhältnisse zu einander; aber die Abweichungen dieser Verhältnisse sind so unbedeutend, dass ich sie hier nicht in Betracht ziehe.

Digitized by Google

Auf dieser Grundlage habe ich die folgende Tabelle zusammengestellt, in welcher die Dicken von Luft, Wasser und Glas, da, wo jede Farbe am intensivsten und deutlichsten ist, in Milliontelzollen angegeben sind.

Dicke der farbigen Blättchen und Theilchen von

		Luft	Wasser	Glas
Farben der 1. Ordnung.	Ganz schwarz	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{10}{31}$
	Schwarz	1	$\frac{3}{4}$	$\frac{20}{31}$
	Schwärzlich	2	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{2}{7}$
	Blau	$2\frac{2}{5}$	$1\frac{4}{5}$	$1\frac{11}{20}$
	Weiss	$5\frac{1}{4}$	$3\frac{7}{8}$	$3\frac{2}{3}$
	Gelb	$7\frac{1}{9}$	$5\frac{1}{3}$	$4\frac{3}{5}$
	Orange	8	6	$5\frac{1}{6}$
	Roth	9	$6\frac{3}{4}$	$5\frac{1}{3}$
2. Ordnung.	Violett	$11\frac{1}{6}$	$8\frac{3}{8}$	$7\frac{1}{5}$
	Indigo	$12\frac{5}{6}$	$9\frac{5}{8}$	$8\frac{2}{11}$
	Blau	14	$10\frac{1}{2}$	9
	Grün	$15\frac{1}{8}$	$11\frac{1}{3}$	$9\frac{5}{7}$
	Gelb	$16\frac{2}{7}$	$12\frac{1}{5}$	$10\frac{2}{5}$
	Orange	$17\frac{2}{9}$	13	$11\frac{1}{9}$
	Hellroth	$18\frac{1}{3}$	$13\frac{3}{4}$	$11\frac{5}{6}$
	Scharlach	$19\frac{2}{3}$	$14\frac{3}{4}$	$12\frac{2}{3}$
3. Ordnung.	Purpur	21	$15\frac{3}{4}$	$13\frac{11}{20}$
	Indigo	$22\frac{1}{10}$	$16\frac{1}{7}$	$14\frac{1}{4}$
	Blau	$23\frac{2}{3}$	$17\frac{11}{20}$	$15\frac{1}{10}$
	Grün	$25\frac{1}{3}$	$18\frac{9}{10}$	$16\frac{1}{4}$
	Gelb	$27\frac{1}{7}$	$20\frac{1}{3}$	$17\frac{1}{2}$
	Roth	29	$21\frac{3}{4}$	$18\frac{5}{7}$
	Bläulichroth	32	24	$20\frac{2}{3}$
4. Ordnung.	Bläulichgrün	21	$25\frac{1}{2}$	22
	Grün	$35\frac{2}{7}$	$26\frac{1}{2}$	$22\frac{3}{4}$
	Gelblichgrün	36	27	$23\frac{2}{9}$
	Roth	$40\frac{1}{3}$	$30\frac{1}{4}$	26
5. Ordnung.	Grünlichblau	46	$34\frac{1}{2}$	$29\frac{2}{3}$
	Roth	$52\frac{1}{2}$	$39\frac{3}{8}$	34
6. Ordnung.	Grünlichblau	$58\frac{3}{4}$	44	38
	Roth	65	$48\frac{3}{4}$	42
7. Ordnung.	Grünlichblau	71	$53\frac{1}{4}$	$45\frac{4}{5}$
	Röthlichweiss	77	$57\frac{3}{4}$	$49\frac{2}{3}$

Vergleicht man diese Tabelle mit Fig. 6, so wird man die Constitution jeder Farbe hinsichtlich ihrer Bestandtheile ersehen, d. h. aus welchen ursprünglichen Farben sie zusammengesetzt ist, und wird im Stande sein, ihre Reinheit und Intensität oder ihre Unvollkommenheit zu beurtheilen. Dies mag genügen zur Erklärung der 4. und 18. Beobachtung, wenn man nicht noch eine Erklärung darüber verlangt, in welcher Weise diese Farben erscheinen, wenn zwei Objectivgläser auf einander gelegt werden. Zu diesem Zwecke schlage man einen grossen Kreisbogen, ziehe eine denselben berührende gerade Linie und parallel zu dieser Tangente mehrere punktirte gerade Linien in solchen Abständen von ihr, wie die neben den einzelnen Farben stehenden Zahlen in der Tabelle angeben. Der Bogen und seine Tangente werden die Oberflächen der Gläser darstellen, welche die zwischenliegende Luft begrenzen, und die Stellen, wo die punktirten Linien den Bogen schneiden, werden zeigen, in welchen Entfernungen vom Centrum oder Berührungspunkte jede Farbe reflectirt wird.

Es giebt auch noch andere Anwendungen dieser Tafel; denn mit ihrer Hülfe war in der 19. Beobachtung die Dicke der Seifenblase aus der Farbe bestimmt worden, die sie zeigte. So kann man auch die Grösse der Theilchen natürlicher Körper aus ihren Farben bestimmen oder vermuthen [conjecture], wie im Folgenden gezeigt werden soll. Auch wenn man zwei oder mehrere sehr dünne Blättchen so aufeinanderlegt, dass sie ein einziges Blättchen von gleicher Gesammtdicke bilden, kann die resultirende Farbe bestimmt werden. So hat z. B. Herr *Hook* [4]) bemerkt, wie er in seiner Micrographia erwähnt, dass ein blassgelbes Glimmerblättchen, auf ein ebensolches blaues gelegt, ein ganz dunkles Purpur hervorbrachte. Das Gelb der ersten Ordnung ist ein schwaches Gelb, die Dicke des diese Farbe zeigenden Blättchens ist nach der Tabelle $4\frac{3}{5}$; addirt man dazu 9, die Dicke, welche das Blau der zweiten Ordnung giebt, so ist die Summe $13\frac{3}{5}$ diejenige Dicke, die das Purpur der dritten Ordnung liefert.

Um nun zunächst die Erscheinungen der 2. und 3. Beobachtung zu erklären, d. h. wie die Farbenringe (durch Umdrehung der Prismen um ihre gemeinsame Axe im umgekehrten Sinne, wie in jenen Beobachtungen) in weisse und schwarze Ringe und dann wieder in farbige mit umgekehrter Farbenfolge verwandelt werden, muss zunächst daran erinnert werden, dass diese Farbenringe durch Neigung der Strahlen gegen die

zwischen den Gläsern befindliche Luftschicht breiter werden, und dass nach der bei der 7. Beobachtung gegebenen Tabelle die Vergrösserung ihrer Durchmesser am deutlichsten und raschesten erfolgt, wenn jene Neigung am grössten ist. Da nun an der ersten Oberfläche dieser Luft die gelben Strahlen stärker gebrochen werden, als die rothen, so treffen sie schiefer auf die zweite Fläche, wo sie reflectirt werden, um die Farbenringe zu bilden; daher wird der gelbe Kreis in jedem Ringe breiter, als der rothe, und der Ueberschuss seiner Breite wird um so grösser sein, je grösser die Neigung der Strahlen ist, bis er schliesslich ebenso ausgedehnt wird, wie der rothe Kreis desselben Ringes. Aus dem nämlichen Grunde werden auch das Grün, Blau und Violett um so breiter, je grösser die Neigung ihrer Strahlen ist, so dass auch diese fast dieselbe Ausdehnung erreichen, d. h. gleichweit vom Centrum der Ringe sind, wie das Roth. Nachher müssen alle Farben des nämlichen Ringes über einander fallen und durch ihre Vermischung einen weissen Ring ergeben. Und diese weissen Ringe müssen schwarze und dunkle Ringe zwischen sich enthalten, weil sie nicht, wie vorher, sich ausbreiten und in einander übergreifen; aus diesem Grunde müssen sie auch deutlicher und bis zu viel grösserer Anzahl sichtbar sein. Allein das Violett wird, weil seine Strahlen die schiefsten sind, im Verhältniss zu seiner Ringweite etwas mehr ausgebreitet erscheinen, als die anderen Farben, und in Folge dessen sehr geneigt sein, an den äussersten Rändern des Weiss aufzutreten.

Nachher werden, bei zunehmender Neigung der Strahlen, das Violett und Blau deutlich mehr verbreitert, als das Roth und Gelb, und so müssen in grösserer Entfernung vom Mittelpunkte der Ringe die Farben in umgekehrter Ordnung, wie vorher, aus dem Weiss hervorgehen, Violett und Blau an den äusseren, Roth und Gelb an den inneren Rändern jedes Ringes, und zwar wird das Violett wegen der grössten Neigung seiner Strahlen und seiner verhältnissmässig stärksten Verbreiterung am äusseren Rande jedes Ringes zuerst erscheinen und deutlicher, als die anderen werden. Die verschiedenen Farbenfolgen, die zu den verschiedenen Ringen gehören, werden bei ihrer Entfaltung und Ausbreitung sich wieder mit einander mischen und die Ringe demnach weniger deutlich und in geringerer Anzahl erscheinen lassen.

Wenn man sich statt der Prismen der Objectivgläser bedient, so werden die auftretenden Ringe durch Neigung des

Digitized by Google

Auges nicht weiss und deutlich, weil die Strahlen bei ihrem Durchgange durch die zwischen den Gläsern befindliche Luft fast parallel zu der Richtung gehen, in der sie zuerst auf das Glas fielen, und die mit den verschiedenen Farben begabten Strahlen nicht, wie im Prisma, einer mehr, als der andere, gegen die Luftschicht geneigt sind.

Bei diesen Versuchen ist aber noch ein anderer Umstand zu beachten, nämlich der, warum denn die schwarzen und weissen Ringe, die, aus der Ferne betrachtet, deutlich erscheinen, in der Nähe gesehen, nicht nur undeutlich werden, sondern auch an den Enden jedes weissen Ringes eine violette Färbung hervortreten lassen. Der Grund ist der, dass die an verschiedenen Stellen der Pupille in das Auge gelangenden Strahlen verschiedene Neigung gegen die Gläser haben, und die schiefsten von ihnen, für sich allein betrachtet, grössere Ringe erzeugt haben würden, als die am wenigsten schiefen. Deshalb wird die Breite des Umfangs von jedem weissen Ringe durch die schiefsten Strahlen auf der Aussenseite und durch die am wenigsten schiefen auf der Innenseite vergrössert, umsomehr, je grösser die Verschiedenheit in der Neigung der Strahlen ist, d. h. je mehr die Pupille erweitert oder das Auge den Gläsern genähert wird. Dabei muss die Breite des Violett am meisten zunehmen, weil die Violett erregenden Strahlen gegen eine zweite oder spätere Oberfläche der dünnen Luftschicht, an der sie reflectirt werden, am schiefsten auffallen und ihre Neigung die grössten Aenderungen erfährt, woher es auch kommt, dass diese Farbe zu allererst an den Rändern des Weiss hervorbricht. In dem Maasse nun, wie auf diese Weise die Breite jedes Ringes vergrössert wird, müssen die dunklen Zwischenräume kleiner werden, bis die benachbarten Ringe an einander stossen und zuerst die äussersten, nachher auch die dem Mittelpunkte näheren sich vermischen, so dass sie nicht mehr einzeln zu unterscheiden sind, sondern ein gleichförmiges Weiss zu bilden scheinen.

Unter allen oben angeführten Beobachtungen ist keine von so sonderbaren Umständen begleitet, wie die 24. Dahin gehört hauptsächlich, dass in dünnen, dem unbewaffneten Auge in gleichmässigem, durchsichtigem Weiss ohne eine Spur von Schattengrenzen erscheinenden Blättchen die Brechung durch ein Prisma Farbenringe erscheinen lässt, da sie doch gewöhnlich die Gegenstände nur da farbig zeigt, wo sie von Schatten begrenzt sind oder ungleich beleuchtete Stellen

Digitized by Google

haben, und dass diese Brechung die Ringe so ausserordentlich deutlich und weiss ergiebt, während sie doch gewöhnlich die Gegenstände undeutlich und farbig zeigt. Die Ursache davon wird man begreifen, wenn man bedenkt, dass alle diese Ringe wirklich in dem Blättchen vorhanden sind, wenn man es mit blossem Auge betrachtet, und dass sie nur wegen der grossen Breite an ihrem Umfange sich so sehr mit einander vermischen, dass sie ein gleichförmiges Weiss zu bilden scheinen. Wenn aber die Strahlen durch ein Prisma in das Auge gelangen, so werden die in jedem Ringe den verschiedenen Farben angehörenden Kreise gebrochen, und zwar die einen mehr, die anderen weniger, je nach dem Grade ihrer Brechbarkeit. Dadurch werden die Farben an der einen Seite des Ringumfanges (vom Mittelpunkte aus) mehr entwickelt und verbreitert, an der entgegengesetzten Seite mehr zusammengezogen. Und da, wo sie durch die geeignete Brechung so stark zusammengezogen sind, dass die einzelnen Ringe zu schmal werden, um sich mischen zu können, müssen sie deutlich erscheinen, auch selbst weiss, wenn die in ihnen enthaltenen Farben bis zum gänzlichen Zusammenfallen zusammengezogen sind. An der anderen Seite aber, wo die Ringbreite durch Entfaltung der Farben immer grösser wird, muss der Ring mehr, als zuvor, mit anderen Ringen zusammentreffen und dadurch undeutlicher werden.

Um dies noch etwas weiter zu erklären, mögen die concentrischen Kreise A V und B X in Fig. 7 das Roth und Violett irgend einer Ordnung darstellen, welche zusammen mit den

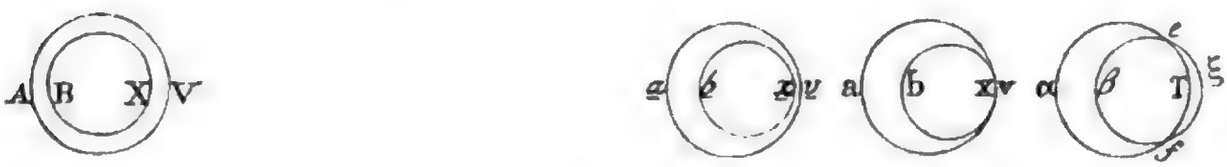

Fig. 7.

zwischenliegenden Farben einen dieser Ringe bilden. Betrachtet man diese Kreise durch ein Prisma, so wird der violette Kreis B X durch stärkere Brechung weiter von seiner Stelle fortgerückt, als der rothe A V, und sich in Folge dessen an der Seite der Kreise, gegen welche hin die Brechung erfolgt, dem rothen mehr nähern. Wenn z. B. der rothe bis $\underline{a\,v}$ verschoben ist, so wird der violette etwa nach $\underline{b\,x}$ gerückt sein, so dass er bei $\underline{x}$ sich jenem mehr genähert hat, und

wenn der rothe weiter, bis av, gelangt, so wird der violette noch weiter, bis bx, gerückt sein und ihn bei x erreichen; wenn der rothe noch weiter, bis $\alpha\Upsilon$, gelangt, wird der violette abermals weiter, bis $\beta\xi$, verschoben sein, so dass er bei ξ über ihn hinausreicht, bei *e* und *f* aber mit ihm zusammenfällt. Da dies nicht bloss vom Roth und Violett gilt, sondern ebenso auch von allen anderen, zwischenliegenden Farben und von jedem Ringe dieser Farben, so ist leicht einzusehen, wie die Farben einer und derselben Ordnung durch ihre Annäherung bei $\underline{x}\,\underline{v}$ und $\Upsilon\xi$, und ihr Zusammenfallen bei xv, *e* und *f* ganz deutliche Kreisbogen, besonders bei xv, *e* und *f* bilden müssen, dass sie aber bei $\underline{x}\,\underline{v}$ getrennt erscheinen, bei xv durch Zusammenfallen Weiss geben, dann wieder bei $\Upsilon\xi$ getrennt auftreten, jedoch in umgekehrter Reihenfolge, wie vorher, die sie auch jenseits *e* und *f* beibehalten. An der anderen Seite aber, bei $\underline{a}\,\underline{b}$, ab und $\alpha\beta$, müssen die Farben undeutlich werden, da sie so verbreitert werden, dass sie mit denen anderer Ordnungen zusammentreffen. Die nämliche Vermengung wird bei $\Upsilon\xi$ zwischen *e* und *f* eintreten, wenn die Brechung sehr stark ist oder das Prisma sehr weit von den Objectivgläsern; in diesem Falle wird von den Ringen nichts zu erkennen sein, als zwei kleine Bogen bei *e* und *f*, deren Abstand von einander noch vergrössert wird, wenn man das Prisma noch weiter von den Gläsern entfernt. Diese kleinen Bogen müssen in ihrer Mitte am deutlichsten und weissesten, an ihren Enden, wo sie anfangen undeutlich zu werden, farbig sein, und zwar müssen die Farben an dem einen Ende die umgekehrte Reihenfolge haben, wie am anderen, weil sie sich in dem zwischenliegenden Weiss kreuzen. Ihre gegen $\Upsilon\xi$ gelegenen Enden werden nämlich an der dem Mittelpunkte zunächst liegenden Seite roth und gelb, an der entgegengesetzten blau und violett sein, die nach der anderen Seite gelegenen im Gegentheile blau und violett auf der dem Mittelpunkte zugewandten, roth und gelb auf der entgegengesetzten Seite.

Ebenso wie dies Alles aus den Eigenschaften des Lichts auf dem Wege mathematischer Berechnung folgt, wird auch die Richtigkeit durch Versuche bestätigt. Denn betrachtet man in einem dunklen Zimmer durch ein Prisma vermittels der Reflexion die einzelnen prismatischen Farben, die ein Assistent auf der gegenüberliegenden Wand oder auf einem Papierschirme, von wo sie reflectirt werden, auf- und abwärts

Digitized by Google

bewegt, während das Auge des Beobachters, Prisma und Gläser, wie in der 13. Beobachtung, in unveränderter Stellung verbleiben, so ergiebt sich die gegenseitige Stellung der von den einzelnen Farben der Reihe nach gebildeten Kreise so, wie ich sie in den Figuren $a\underline{b}\,\underline{v}\underline{x}$ oder a b x v oder $\alpha\beta\xi\Upsilon$ beschrieben habe. Auf dieselbe Weise kann die Richtigkeit der zu anderen Versuchen gegebenen Erklärungen geprüft werden.

Durch das Gesagte werden auch ähnliche Erscheinungen bei Wasser und dünnen Glasblättchen verständlich. Aber bei kleinen Bruchstücken solcher Blättchen ist ferner zu bemerken, dass, wenn man sie flach auf den Tisch legt und um ihren Mittelpunkt dreht, während man sie durch ein Prisma beobachtet, sie in gewissen Stellungen Wellenlinien von verschiedener Farbe zeigen, manche nur in einer oder zwei Stellungen, die meisten aber in allen Lagen und meist fast über das ganze Blättchen hinweg. Es rührt dies daher, dass die Oberfläche solcher Blättchen nicht eben ist, sondern Vertiefungen und Anschwellungen besitzt, welche, so flach sie auch sind, doch die Dicke des Blättchens veränderlich erscheinen lassen. Denn an den verschiedenen Seiten dieser Vertiefungen müssen aus den vorhin beschriebenen Gründen bei verschiedenen Stellungen des Prismas Wellen erzeugt werden. Obgleich es nun bloss einige sehr kleine und schmale Theilchen des Glases sind, welche die meisten dieser Wellenlinien hervorbringen, scheinen sie sich doch über das ganze Glas auszudehnen, weil es Farben verschiedener Ordnungen, d. h. Farben aus verschiedenen Ringen giebt, die von den schmalsten dieser Theilchen verworren reflectirt werden und durch die Brechung des Prismas zum Vorschein kommen, dadurch getrennt und je nach dem Grade ihrer Brechbarkeit nach verschiedenen Stellen hin zerstreut werden, so dass sie ebenso viele verschiedene Wellenlinien bilden, als Ordnungen dieser von den Glastheilchen verworren und vermischt reflectirten Farben vorhanden sind.

Dies sind die hauptsächlichsten Erscheinungen an dünnen Blättchen und Blasen, deren Erklärung von den bis jetzt beschriebenen Eigenschaften des Lichts abhängt. Man sieht, dass sie mit Nothwendigkeit aus ihnen folgen und nicht allein, selbst in den kleinsten Umständen, mit ihnen im Einklange stehen, sondern auch vielfach zum Nachweise von deren Richtigkeit beitragen. So ist nach der 24. Beobachtung klar,

Digitized by Google

dass die Strahlen verschiedener Farben, und zwar die durch dünne Blättchen oder Blasen ebenso gut, wie die durch Brechung in einem Prisma erzeugten, verschiedene Grade von Brechbarkeit besitzen, wodurch die Strahlen einer jeden Ordnung, die bei Reflexion von Blättchen oder Blasen mit solchen einer anderen Ordnung vermischt sind, durch Brechung von ihnen getrennt werden und sich unter einander so vereinigen, dass sie der Reihe nach als ebenso viele Kreisbogen sichtbar werden. Denn hätten alle Strahlen gleiche Brechbarkeit, so wäre es unmöglich, dass die Bestandtheile des bei gewöhnlicher Betrachtung so gleichförmig erscheinenden Weiss durch die Brechung so umgelegt oder versetzt und zu schwarzen und weissen Kreisbogen angeordnet würden.

Es ist auch klar, dass die ungleichen Brechungen der unähnlichen Strahlen nicht aus gewissen zufälligen Unregelmässigkeiten hervorgehen, wie es z. B. Adern sind, oder eine ungleiche Politur oder die zufällige Lage von Poren im Glase, oder gelegentliche unregelmässige Bewegungen in der Luft oder im Aether, oder die Spaltung, Brechung oder Theilung eines Strahles in viele divergirende Bestandtheile oder Aehnliches. Denn wollte man solche Unregelmässigkeiten zugeben, so wäre es unmöglich, dass Brechungen jene Ringe so deutlich und scharf begrenzt zu Stande brächten, wie dies in der 24. Beobachtung der Fall war. Daher hat nothwendiger Weise jeder Strahl seinen eigenen und constanten Grad von Brechbarkeit, demzufolge die Brechung immer genau und gesetzmässig stattfindet; und verschiedene Strahlen müssen verschiedene Grade davon besitzen.

Was von ihrer Brechbarkeit gesagt worden ist, kann auch von ihrer Reflexibilität gelten, d. i. von der Fähigkeit [disposition], dass einige bei grösserer, andere bei kleinerer Dicke dünner Blättchen oder Blasen reflectirt werden, dass nämlich diese Fähigkeiten den Strahlen von Natur unveränderlich eigen sind. wie aus der 13., 14. und 15. Beobachtung, verglichen mit der 4. und 18., erhellt.

Aus den vorhergehenden Beobachtungen ergiebt sich auch, dass Weiss eine heterogene Mischung aller Farben ist und das Licht eine Mischung von Strahlen, die mit allen diesen Farben begabt sind. Denn in Anbetracht der Menge von Farbenringen in der 3., 12. und 24. Beobachtung ist klar, dass, obgleich in der 4. und 18. Beobachtung nicht mehr, als 8 oder 9 solcher Ringe auftreten, doch in Wirklichkeit deren

eine viel grössere Anzahl existirt, die sich nur so sehr mit einander vermischen, dass sie nach jenen 8 oder 9 Ringen in Folge gänzlichen Ineinanderfliessens ein gleichförmiges Weiss geben. In Folge dessen muss zugegeben werden, dass Weiss eine Mischung von allen Farben ist, und dass das Licht, welches dieses Weiss dem Auge übermittelt, aus einer Mischung von Strahlen besteht, die mit allen diesen Farben begabt sind.

Weiter ist aus der 24. Beobachtung klar, dass zwischen Farbe und Brechbarkeit ein constantes Verhältniss besteht, indem die brechbarsten Strahlen violett, die am wenigsten brechbaren roth sind, und die mittleren Farben in bestimmten Verhältnissen mittlere Grade von Brechbarkeit besitzen. Aus der 13., 14. und 15. Beobachtung folgt ferner durch Vergleich mit der 4. und 18., dass dieselbe constante Beziehung zwischen Farbe und Reflexibilität besteht, indem unter sonst gleichen Umständen das Violett bei der geringsten Dicke eines dünnen Blättchens oder einer Blase reflectirt wird, das Roth bei der grössten Dicke, mittlere Farben bei mittleren Dicken. Daraus folgt auch, dass die Farbeneigenschaften der Strahlen ihnen von Natur unveränderlich innewohnen, und folglich alle Erscheinungen von Farben in der ganzen Welt nicht aus einer physikalischen Veränderung herzuleiten sind, die das Licht durch Brechungen und Reflexionen erfährt, sondern lediglich aus den verschiedenen Mischungen und Trennungen der Strahlen zufolge ihrer verschiedenen Brechbarkeit oder Reflexibilität. Bei dieser Auffassung wird die Lehre von den Farben eine ebenso sichere mathematische Theorie, wie irgend ein anderer Theil der Optik, insoweit nämlich die Farben von der Natur des Lichts abhängen und nicht durch die Einbildungskraft oder etwa einen Schlag oder Druck auf das Auge hervorgebracht oder geändert werden.

Dritter Theil.

Ueber die dauernden Farben der natürlichen Körper und die Analogie zwischen ihnen und den Farben dünner durchsichtiger Blättchen[5]).

Ich komme jetzt zu einem anderen Theile meines Vorhabens, nämlich zu untersuchen, welche Beziehungen zwischen

Digitized by Google

den Erscheinungen bei dünnen durchsichtigen Blättchen und denen an anderen natürlichen Körpern bestehen. Von letzteren habe ich schon gesagt, dass sie von verschiedener Farbe sind, je nachdem sie die mit dieser Farbe ausgestatteten Strahlen am reichlichsten zu reflectiren geneigt sind. Aber es bleibt noch ihre Constitution zu untersuchen, nach welcher sie gewisse Strahlen reichlicher, als andere zurückwerfen, und diese will ich in den folgenden Propositionen zu erklären versuchen.

Prop. I.

Die grösste Menge Licht reflectiren diejenigen Oberflächen durchsichtiger Körper, welche die grösste brechende Kraft besitzen, d. h. solche, die sich zwischen Medien befinden, deren brechende Dichtigkeiten am meisten von einander abweichen. An den Grenzen von gleich brechenden Medien giebt es keine Reflexion.

Die Analogie zwischen Reflexion und Brechung wird durch die Erwägung klar werden, dass, wenn Licht in schiefer Richtung aus einem Medium in ein anderes, welches vom Einfallslothe fort bricht, übergeht, ein um so kleinerer Einfallswinkel der Strahlen erforderlich ist, um totale Reflexion zu bewirken, je grösser der Unterschied der brechenden Dichtigkeit dieser Medien ist. Denn die Sinus, welche die Brechung messen, verhalten sich zu einander, wie die Sinuslinie des Einfallswinkels, bei dem die totale Reflexion beginnt, zum Radius des Kreises; mithin ist dieser Einfallswinkel am kleinsten, wo die Differenz der Sinus am grössten ist. So beginnt beim Uebergange des Lichts aus Wasser in Luft, wo die Brechung durch das Verhältniss der Sinus 3 : 4 gemessen wird, die totale Reflexion bei einem Einfallswinkel von ungefähr $48^{\circ}\,35'$; beim Uebergang aus Glas in Luft, wo die Brechung durch das Verhältniss der Sinus 20 : 31 gemessen wird, beginnt die Totalreflexion bei einem Einfallswinkel von $40^{\circ}\,10'$; und so ist beim Uebergange aus Krystall oder einem noch stärker brechenden Medium in Luft zur totalen Reflexion eine noch geringere Neigung erforderlich. Daher reflectiren Oberflächen, die am stärksten brechen, am ehesten alles auf sie fallende Licht und müssen deshalb als am kräftigsten reflectirend angesehen werden.

Die Richtigkeit dieses Satzes wird noch weiter durch

Digitized by Google

die Beobachtung bestätigt, dass an der Oberfläche zwischen zwei durchsichtigen Medien (wie Luft, Wasser, Oel, gewöhnliches oder Krystallglas, oder bei metallischen Glasflüssen, isländischen Gläsern, weissem, durchsichtigem Arsenik, Diamant etc.) die Reflexion in dem Maasse stärker oder schwächer ist, als die Oberfläche eine grössere oder geringere brechende Kraft besitzt. Denn an der Grenze von Luft und Steinsalz ist die Reflexion stärker, als an der von Luft und Wasser; noch stärker ist sie an der Grenze von Luft und gewöhnlichem oder Krystallglas, und noch stärker an der von Luft und Diamant. Wenn diese oder ähnliche durchsichtige Körper in Wasser getaucht werden, so wird ihre Reflexion viel schwächer, als zuvor, und noch schwächer, wenn man sie in noch stärker brechende Flüssigkeiten, in gut rectificirtes Vitriolöl oder Terpentinspiritus, taucht. Denkt man sich Wasser durch eine Ebene in zwei Theile getheilt, so ist die Reflexion an der Grenze dieser Theile vollkommen Null; an der Grenze von Wasser und Eis ist sie sehr gering, an der von Wasser und Oel etwas grösser, an der von Wasser und Steinsalz noch grösser, und zwischen Wasser und Glas oder Krystall oder anderen dichteren Substanzen noch grösser, in dem Maasse, wie diese Medien eine mehr oder weniger verschiedene brechende Kraft besitzen. Daher muss, wenn ich dies auch noch nicht durch Versuche geprüft habe, an der Grenze zwischen gewöhnlichem und Krystallglas eine schwache, an der von gewöhnlichem und metallischem Glase eine stärkere Reflexion stattfinden. Dasselbe muss in ähnlicher Weise von den Oberflächen zwischen zwei Krystallgläsern oder zwischen zwei Flüssigkeiten gelten, oder von irgend welchen Substanzen, zwischen denen keine Brechung eintritt. Demnach liegt die Ursache, weshalb gleichförmige durchsichtige Media (wie Wasser, Glas oder Krystall) nur an ihrer äusseren Oberfläche, wo sie andere Medien von verschiedener Dichtigkeit berühren, eine merkliche Reflexion besitzen, darin, dass alle ihre unter sich zusammenhängenden Theilchen denselben Grad von Dichtigkeit haben.

Digitized by Google

Prop. II.

Die kleinsten Theilchen fast aller natürlichen Körper sind in gewisser Weise durchsichtig; die Undurchsichtigkeit der Körper entspringt aus einer Menge von Reflexionen, die im Inneren derselben stattfinden.

Dass sich dies so verhält, haben schon Andere beobachtet und wird ohne weiteres von Denen zugegeben werden, die sich mit dem Mikroskope beschäftigt haben. Man kann es aber auch dadurch prüfen, dass man einen Körper vor eine Oeffnung bringt, durch welche Licht in ein dunkles Zimmer dringt. Denn so undurchsichtig dieser Körper in freier Luft auch sein mag, wird er doch auf diese Weise, wenn er nur genügend dünn ist, ganz deutlich durchsichtig erscheinen. Nur weisse metallische Körper bilden eine Ausnahme, da sie wegen ihrer ausserordentlichen Dichte fast alles auffallende Licht an ihrer vorderen Fläche zu reflectiren scheinen, wenn sie nicht durch chemische Lösungsmittel bis auf ganz kleine Partikeln reducirt sind, wo sie dann ebenfalls durchsichtig werden.

Prop. III.

Zwischen den Theilchen der undurchsichtigen farbigen Körper giebt es zahlreiche Hohlräume, welche leer oder mit Medien von anderer Dichtigkeit gefüllt sind, wie z. B. Wasser zwischen den Farbkörperchen, mit denen eine Flüssigkeit imprägnirt ist, Luft zwischen den die Wolken oder den Nebel bildenden Wasserkügelchen, und zwischen den Theilchen harter Körper meistens Hohlräume, die weder Wasser, noch Luft enthalten, aber doch vielleicht nicht gänzlich leer von jeglicher Substanz sind.

Die Wahrheit dieses Satzes ist durch die beiden vorhergehenden Propositionen erwiesen; denn nach der zweiten finden zahlreiche Reflexionen an den inneren Theilchen statt, was nach der ersten Proposition nicht der Fall sein würde, wenn die Theilchen dieser Körper ohne solche Zwischenräume stetig zusammenhingen, da Reflexionen nur an Flächen vorkommen, welche nach Prop. I zwischen Medien verschiedener Dichte liegen.

Digitized by Google

Dass diese Discontinuität der Partikeln die Hauptursache der Undurchsichtigkeit der Körper ist, erhellt weiter daraus, dass undurchsichtige Substanzen durchsichtig werden, wenn man ihre Poren mit einer Substanz füllt, die mit den Körpertheilchen gleiche oder fast gleiche Dichtigkeit besitzt. So wird Papier, wenn man es mit Wasser oder Oel durchtränkt, der Hydrophan [Oculus mundi], wenn er in Wasser getaucht ist, leinene Stoffe, wenn sie geölt oder gefirnisst werden, und viele andere Substanzen, wenn man sie mit solchen Flüssigkeiten tränkt, die unmittelbar in ihre kleinen Poren eindringen, durchsichtiger, als sonst, und umgekehrt können die meisten durchsichtigen Körper ziemlich undurchsichtig gemacht werden, indem man ihre Poren entleert oder ihre Theilchen von einander trennt, wie z. B. Salze oder nasses Papier oder Hydrophan durch Trocknen, Horn durch Schaben, Glas durch Pulverisiren oder Zersplittern, Terpentinöl, wenn es bis zu unvollkommener Vermischung mit Wasser umgerührt wird, Wasser, wenn es zu zahlreichen kleinen Blasen in Form von Schaum aufgerührt oder zusammen mit Terpentinöl oder Olivenöl oder mit einer anderen passenden Flüssigkeit, mit der es sich nicht vollkommen mischt, umgeschüttelt wird. Zu der wachsenden Undurchsichtigkeit dieser Körper trägt noch der Umstand bei, dass nach der 23. Beobachtung die Reflexion sehr dünner durchsichtiger Substanzen beträchtlich stärker ist, als die der nämlichen Substanzen bei grösserer Dicke.

Prop. IV.

Damit die Körper undurchsichtig und farbig erscheinen, braucht die Kleinheit der Theilchen und ihrer Zwischenräume einen bestimmten Grad nicht zu überschreiten.

Denn die dunkelsten Körper werden vollkommen durchsichtig, wenn man sie in die feinsten Theilchen zerlegt (wie z. B. Metalle durch Auflösen in scharfen Lösungsmitteln). Auch erinnere man sich, dass in der 8. Beobachtung an den Flächen der Objectivgläser da, wo sie einander sehr nahe waren, ohne sich zu berühren, keine wahrnehmbare Reflexion stattfand. Und in der 17. Beobachtung war an der dünnsten Stelle der Seifenblase die Reflexion fast unmerklich, so dass aus Mangel an reflectirtem Lichte an der höchsten Stelle der Blase ganz schwarze Flecke erschienen.

Digitized by Google

Dies ist nach meinen Wahrnehmungen der Grund der Durchsichtigkeit von Wasser, Steinsalz, Glas, von Steinen und ähnlichen Körpern. Denn nach mannigfachen Erwägungen gelangt man zu der Ansicht, dass sie ebenso voller Poren und Zwischenräume zwischen ihren Theilchen sind, wie andere Körper, nur dass diese Theilchen und ihre Zwischenräume zu klein sind, um an ihrer gemeinschaftlichen Oberfläche Reflexionen hervorzurufen.

Prop. V.

Die durchsichtigen Theilchen der Körper reflectiren je nach ihrer verschiedenen Grösse Strahlen einer gewissen Farbe, während sie die einer anderen durchlassen, aus demselben Grunde, wie dünne Blättchen oder Blasen diese Strahlen reflectiren oder durchlassen. Dies ist nach meiner Meinung die Ursache aller Körperfarben.

Wenn nämlich ein dünnes Blättchen eines Körpers, welches überall von gleichmässiger Dicke und daher durchaus gleichmässig gefärbt ist, in Fasern zerspalten oder in Stücke gebrochen wird, die mit dem Blättchen gleiche Dicke haben, so sehe ich keinen Grund, weshalb nicht jede Faser oder jedes Bruchstück seine Farbe beibehalten sollte, und mithin eine Anhäufung solcher Bruchstücke nicht eine Masse oder ein Pulver von ganz derselben Farbe darstellen sollte, wie sie das Blättchen vor seiner Zertheilung hatte. Und weil die Theilchen aller natürlichen Körper sich wie ebenso viele Bruchstücke eines Blättchens verhalten, so müssen sie aus demselben Grunde die nämlichen Farben zeigen.

Dass dies der Fall ist, ergiebt sich klar aus der Aehnlichkeit zwischen den Eigenschaften der Theilchen natürlicher Körper und denen dünner Blättchen. Die prachtvoll gefärbten Federn mancher Vögel, besonders die im Pfauenschwanze, erscheinen an derselben Stelle der Federn bei verschiedenen Stellungen des Auges in verschiedenen Farben, ganz in derselben Weise, wie die dünnen Blättchen in der 7. und 19. Beobachtung; daher entspringen ihre Farben aus der Dünne der durchsichtigen Theile der Federn, d. h. aus den äusserst feinen Härchen oder Fasern, die aus den stärkeren Seitenzweigen der Federn hervorwachsen. Aus demselben Grunde erscheinen, wie Einige beobachtet haben, die sehr feinen

Gewebe mancher Spinnen farbig, und die farbigen Fasern mancher Seide wechseln ihre Farbe mit der Stellung des Auges. Auch die Farbe seidener und wollener Stoffe und anderer Substanzen, in welche Wasser und Oel leicht tief einzudringen vermögen, werden durch Eintauchen in solche Flüssigkeiten schwächer und dunkler und erlangen durch Trocknen ihre frühere Intensität wieder, ganz wie dies von den dünnen Blättchen in der 10. und 21. Beobachtung gesagt worden ist. Blattgold, gewisse Sorten bunten Glases, Nierenholztinktur und einige andere Substanzen reflectiren die eine Farbe und lassen eine andere durch, ebenso wie die dünnen Körper in der 9. und 20. Beobachtung. Und manche von den Farbenpulvern, wie sie die Maler brauchen, mögen ihre Farben ein wenig geändert haben, wenn sie recht gründlich und fein zerrieben worden sind. Daher sehe ich nicht ein, welchen triftigeren Grund man für diese Farbenwechsel angeben kann, als dieses Zerreiben der Theile in immer kleinere Theilchen, gerade so, wie die Farbe einer dünnen Platte sich mit ihrer Dicke ändert. Daher kommt es auch, dass die farbigen Blätter von Blumen und Kräutern durch Zerstossen gewöhnlich durchsichtiger werden, als zuvor, oder wenigstens in gewissem Grade die Farbe verändern. Nicht weniger entspricht es meiner Auffassung, dass durch Mischen verschiedener Flüssigkeiten ganz eigenthümliche und bemerkenswerthe Farben erzeugt und Farbenwechsel erzielt werden, für welche die nächstliegende und verständlichste Ursache darin zu finden ist, dass die Salzkörperchen der einen Flüssigkeit in verschiedener Weise auf die Farbenkörperchen der anderen einwirken oder sich mit ihnen vereinigen, so dass sie dieselben aufschwellen oder zusammenschrumpfen lassen (wobei nicht nur deren Grösse, sondern auch ihre Dichtigkeit verändert wird), oder sie in kleinere Körperchen zerlegen (wodurch eine farbige Flüssigkeit durchsichtig wird), oder auch eine grössere Anzahl von ihnen zu einer einzigen Masse verbinden, wodurch zwei durchsichtige Flüssigkeiten eine gefärbte liefern können. Denn wir sehen, wie sehr sich diese salzigen Lösungsmittel eignen, Substanzen, zu denen sie gebracht werden, zu durchdringen und aufzulösen, und wie einige von ihnen das fällen, was andere lösen. Ebenso können wir beobachten, wenn wir die Vorgänge in der Atmosphäre betrachten, dass Dünste, welche erst aufzusteigen beginnen, die Durchsichtigkeit der Luft nicht hindern, weil sie in zu kleine Theilchen zertheilt sind, um

Digitized by Google

an ihrer Oberfläche Reflexionen zu veranlassen, dass sie aber nachher, wenn sie behufs der Bildung von Regentropfen zu Kugeln von allen möglichen mittleren Grössen verschmelzen, und wenn diese Kugeln gross genug werden, um gewisse Farben zu reflectiren, andere durchzulassen, je nach ihrer verschiedenen Grösse Wolken von verschiedener Farbe bilden können. Und ich sehe nicht ein, welcher anderen Ursache bei einer so durchsichtigen Substanz, wie Wasser, die Entstehung dieser Farben vernünftigerweise zugeschrieben werden kann, wenn es nicht die verschiedene Grösse der kleinen Flüssigkeitskugeln sein soll.

Prop. VI.

Die Theilchen der Körper, von denen ihre Farbe abhängt, sind dichter, als das Medium, welches ihre Zwischenräume durchdringt.

Dies wird klar, wenn man erwägt, dass die Farbe eines Körpers nicht bloss von den seine Theilchen senkrecht treffenden Strahlen abhängt, sondern auch von denen, die unter allen möglichen anderen Winkeln einfallen, ferner daraus, dass nach der 7. Beobachtung eine ganz kleine Veränderung in der Neigung die reflectirte Farbe überall da ändert, wo der dünne Körper oder das kleine Theilchen dünner ist, als das umgebende Medium, dergestalt dass ein solches kleines Theilchen bei verschieden schiefem Einfall alle Farben in so grosser Verschiedenheit zurückwirft, dass die Farbe, welche aus den von einer Menge solcher Theilchen verworren reflectirten sich ergiebt, eher weiss oder grau, als irgend eine andere Farbe sein wird oder höchstens eine sehr unvollkommene und schmutzige Farbe. Wenn dagegen der dünne Körper oder das kleine Theilchen viel dichter ist, als das umgebende Medium, so erfahren nach der 19. Beobachtung die Farben durch Aenderung der Neigung so wenig Aenderung, dass die am wenigsten schief reflectirten Strahlen über die anderen überwiegen und dadurch die Gesammtheit solcher Theilchen ganz intensiv in ihrer besonderen Farbe erscheint.

Zur Bestätigung dieser Proposition trägt auch einigermaassen die Thatsache bei, dass nach der 22. Beobachtung die Farben, welche ein dünner Körper von grösserer Dichtigkeit innerhalb eines dünneren Mediums zeigt, lebhafter sind, als die, welche ein Körper von geringerer Dichte innerhalb eines dichteren Mediums zeigt.

Prop. VII.

Aus der Farbe der natürlichen Körper kann man auf die Grösse der dieselben zusammensetzenden Theilchen schliessen.

Da nämlich nach Prop. V die Theilchen dieser Körper höchst wahrscheinlich dieselbe Farbe zeigen, wie ein Blättchen von gleicher Dicke, vorausgesetzt, dass beide dieselbe brechende Kraft besitzen, und da ihre Theilchen grösstentheils fast ebenso dicht sind, wie Wasser oder Glas, wie aus vielerlei Umständen geschlossen werden kann, so hat man, um diese Grössen zu bestimmen, nur nöthig, die obigen Tafeln zu Hülfe zu nehmen, in denen angegeben ist, bei welcher Dicke des Wassers oder Glases sich eine gewisse Farbe ergiebt. Wenn man z. B. den Durchmesser eines Körperchens wissen will, welches von derselben Dichte, wie Glas, ist und das Grün der 3. Ordnung reflectirt, so zeigt die Zahl $16\frac{1}{4}$ an, dass derselbe $16\frac{1}{4}$ Milliontel Zoll beträgt.

Die Hauptschwierigkeit bietet hier die Frage, von welcher Ordnung die Farbe eines Körpers ist. Zu diesem Zwecke müssen wir auf die 4. und 18. Beobachtung zurückgehen, aus denen wir folgende Schlüsse ziehen können.

Scharlach und andere Roth, Orange und Gelb sind, wenn rein und intensiv, höchst wahrscheinlich von der 2. Ordnung. Die nämlichen Farben aus der 1. und 3. Ordnung können auch ziemlich gut sein, nur das Gelb der 1. Ordnung ist schwach, und das Orange und Roth der 3. Ordnung haben eine starke Beimischung von Violett und Blau.

Es giebt auch gute grüne Farben der 4. Ordnung, aber das reinste Grün gehört der 3. an; dieser Ordnung wird man das Grün aller Pflanzen zurechnen müssen, und zwar theils wegen der Intensität dieser Farben, theils weil einige beim Verwelken ein grünliches Gelb, andere ein vollkommneres Gelb oder Orange annehmen, oder selbst, nachdem sie alle vorgenannten zwischenliegenden Farben durchlaufen haben, eine rothe Farbe. Dieser Farbenwechsel scheint durch die Verdunstung der Feuchtigkeit, wodurch vielleicht die Farbenkörperchen dichter werden, hervorgerufen und noch einigermaassen durch den Zuwachs von öligen und erdigen Theilchen dieses Pflanzensaftes vermehrt zu werden. Nun ist das Grün ohne Zweifel von der nämlichen Ordnung, wie die Farben, in welche es sich verwandelt, weil dieser Wechsel allmählich vor sich geht und

jene Farben, wenn auch gewöhnlich nicht recht gesättigt, doch häufig zu rein und lebhaft sind, um zur 4. Ordnung zu gehören.

Die verschiedenen Blau und Purpur mögen wohl entweder der 2. oder der 3. Ordnung angehören, die besten derselben sind aber von der 3. Ordnung. So scheint die Farbe der Veilchen von der letzteren Ordnung zu sein, weil ihr Syrup durch saure Flüssigkeiten geröthet und durch Harn und alkalische Flüssigkeiten grün gefärbt wird. Denn da es in der Natur der Säuren liegt, aufzulösen und zu verdünnen, und in der der Alkalien, Niederschläge zu bilden und zu verdicken, so würde eine saure Flüssigkeit, wenn der Purpur des Veilchensyrups von der 2. Ordnung wäre, ihn durch Verdünnung seiner färbenden Theilchen in ein Roth der 1. Ordnung, und ein Alkali durch Verdicken derselben in ein Grün der 2. Ordnung umwandeln; dieses Roth und Grün aber, zumal das Grün, scheinen zu unvollkommen, um durch solche Umwandlungen entstanden zu sein. Wenn aber der genannte Purpur als der 3. Ordnung angehörend angenommen wird, so kann man ohne Bedenken seine Umwandlung in Roth der 2. und in Grün der 3. Ordnung zugeben.

Fände sich ein Körper von tieferem und weniger röthlichem Purpur, als dem der Veilchen, so würde seine Farbe sehr wahrscheinlich von der 2. Ordnung sein. Da es aber keine allgemein bekannten Körper von beständig tieferer Farbe, als der der Veilchen, giebt, so habe ich mich ihres Namens bedient, um die tiefsten und am wenigsten röthlichen Purpurfarben zu bezeichnen, die jene an Reinheit offenbar noch übertreffen.

Das Blau der ersten Ordnung, obwohl schwach und unbedeutend, mag sich wohl an manchen Körpern finden, und vor allem scheint das Azurblau des Himmels von dieser Ordnung zu sein. Denn alle Dünste erlangen, wenn sie anfangen, sich zu condensiren und zu kleinsten Theilchen zusammenzuballen, die geeignete Grösse, um ein solches Azurblau zu reflectiren, noch ehe sie Wolken von anderer Farbe bilden können. Da dies also die erste Farbe ist, welche die Dünste reflectiren, so muss es die Farbe des klarsten und durchsichtigsten Himmels sein, in dem die Dünste noch nicht bis zu einer Grösse angewachsen sind, um andere Farben zu reflectiren, wie dies die Beobachtung bestätigt.

Weiss ist, wenn es recht intensiv und leuchtend ist, das der 1. Ordnung, wenn weniger kräftig und hell, ein Gemisch

von Farben verschiedener Ordnungen. Von dieser letzteren Art ist das Weiss des Schaumes, des Papiers, der Leinwand und der meisten weissen Körper, zur ersteren Art rechne ich das der weissen Metalle. Denn da das dichteste aller Metalle, das Gold, in Blättchen geschlagen, durchsichtig ist, und alle Metalle, in Säuren gelöst oder verglast, durchsichtig werden, so entspringt die Undurchsichtigkeit der weissen Metalle nicht aus ihrer Dichte allein. Da sie weniger dicht sind, als Gold, so müssten sie durchsichtiger sein, als dieses, käme nicht zu ihrer Dichte noch eine andere Ursache hinzu, sie undurchsichtig zu machen. Diese Ursache ist meiner Meinung nach diejenige Grösse ihrer Theilchen, welche sie geeignet macht, das Weiss der 1. Ordnung zu reflectiren. Denn wenn sie von anderer Grösse sind, so können sie andere Farben reflectiren, wie sich deutlich an den Farben zeigt, die an glühendem Stahl beim Abkühlen auftreten, auch bisweilen an der Oberfläche geschmolzener Metalle, wenn sie sich beim Erkalten mit Schlacken bedecken. Und da das Weiss der 1. Ordnung das intensivste ist, welches durch dünne Blättchen durchsichtiger Substanzen hervorgerufen wird, so muss es auch in den dichteren Substanzen der Metalle intensiver sein, als in dem dünneren Medium der Luft, des Wassers und Glases. Und ich sehe nicht ein, warum nicht metallische Körper von solcher Dicke, dass sie geeignet sind, das Weiss 1. Ordnung zu reflectiren, zufolge ihrer grösseren Dichtigkeit im Sinne der I. Prop. das auf sie fallende Licht reflectiren und dadurch so undurchsichtig und glänzend werden sollten, wie irgend ein anderer Körper es nur sein kann. Gold oder Kupfer, mit etwas weniger als der Hälfte ihres Gewichts Silber, Zinn oder Antimon zusammengeschmolzen, oder mit ganz wenig Quecksilber amalgamirt, werden weiss; dies zeigt, dass die Theilchen der weissen Metalle viel mehr Oberfläche haben und mithin kleiner sind, als die des Goldes und Kupfers, und dann auch, dass sie so undurchsichtig sind, dass die Gold- und Kupfertheilchen nicht durch sie hindurchscheinen können. Nun ist kaum zu bezweifeln, dass die Farben des Goldes und Kupfers der 2. und 3. Ordnung angehören; daher können die Theilchen der Weissmetalle nicht viel grösser sein, als erforderlich, um Weiss der 1. Ordnung zu reflectiren. Die leichte Beweglichkeit des Quecksilbers zeigt, dass sie nicht viel grösser sind; sie können aber auch nicht viel kleiner sein, sonst büssten sie ihre Undurchsichtigkeit ein und würden entweder

durchsichtig, wie dies eintritt, wenn sie durch Verglasung oder durch Auflösung in gewissen Lösungsmitteln verdünnt werden, oder sie würden schwarz, was der Fall ist, wenn sie feiner zerrieben werden, wie wenn man Silber, Zinn oder Blei auf anderen Körpern reibt, um schwarze Linien darauf zu zeichnen. Die erste und einzige Farbe, welche die weissen Metalle beim Zerkleinern ihrer Theilchen annehmen, ist Schwarz, daher muss ihr Weiss dasjenige sein, welches den schwarzen Fleck in der Mitte der Farbenringe umgiebt, d. i. das Weiss der 1. Ordnung. Wenn man aber daraus auf die Grösse der metallischen Theilchen schliessen will, so muss man ihre Dichte in Rechnung ziehen. Denn die Dichte des Quecksilbers ist eine solche, dass, wäre es durchsichtig, der Sinus des Einfalls (nach meiner Berechnung) zum Sinus der Brechung sich wie 71 : 20, oder wie 7 : 2 verhalten würde. Daher müsste die Dicke seiner Theilchen, damit sie dieselben Farben, wie die Seifenblasen zeigten, im Verhältniss 2 : 7 kleiner sein, als die Häutchen dieser Blasen. Daher ist es wohl möglich, dass die Quecksilbertheilchen ebenso klein sind, wie die mancher durchsichtigen und flüchtigen Flüssigkeiten, und dennoch das Weiss der 1. Ordnung reflectiren.

Was endlich die Erzeugung von Schwarz anlangt, so müssen die Theilchen kleiner sein, als die aller anderen, Farben hervorbringenden Körper; denn alle grösseren Theilchen reflectiren zu viel Licht, um jene Farbe zu erzeugen. Nimmt man aber an, sie wären ein wenig zu klein, um das Weiss und das schwache Blau der 1. Ordnung zu reflectiren, so werden sie, entsprechend der 4., 8., 17. und 18. Beobachtung, so wenig Licht zurückwerfen, dass sie intensiv schwarz erscheinen, und werden es dennoch verschiedentlich in ihrem Inneren so lange hin und her brechen, bis es erstickt und verlöscht ist, wodurch die Körper dann in allen Stellungen des Auges schwarz, ohne Spur von Durchsichtigkeit, erscheinen. Hierdurch wird auch erklärlich, warum das Feuer und die noch feiner auflösende Fäulniss den Körpertheilchen durch Zertheilung derselben eine schwarze Farbe verleiht, warum ferner kleine Mengen schwarzer Substanzen ihre Farbe anderen Körpern, mit denen sie in Berührung kommen, so leicht und ausgiebig mittheilen, indem ihre kleinen Theilchen in Folge ihrer grossen Anzahl die grösseren Theilchen der anderen Körper leicht überziehen, warum Glas, wenn es recht sorgfältig mit Sand auf einer Kupferplatte gerieben wird, bis

Digitized by Google

es gut geschliffen ist, den Sand und das vom Glas und Kupfer abgeschliffene Pulver ganz schwarz macht, warum schwarze Körper im Sonnenlichte am meisten von allen erhitzt und verbrannt werden (was zum Theil von der Menge der Brechungen auf einem kleinen Raume, zum Theil von der leichten Bewegung so kleiner Körperchen herrühren mag), und warum schwarze Körper meistens ein wenig nach der blauen Farbe hinneigen. Denn davon kann man sich überzeugen, wenn man von schwarzen Körpern reflectirtes Licht auf weisses Papier fallen lässt; dann wird das Papier gewöhnlich in bläulichem Weiss erscheinen, denn dieses Schwarz grenzt an das dunkle Blau der 1. Ordnung, wie in der 18. Beobachtung beschrieben ist, und reflectirt deshalb mehr Strahlen dieser Farbe, als von einer anderen.

Ich bin bei diesen Beschreibungen etwas ausführlicher gewesen, weil es nicht unmöglich ist, dass mit der Zeit die Mikroskope so weit verbessert werden, dass sie uns die Theilchen der Körper, von denen ihre Farbe abhängt, erkennen lassen, während sie jetzt noch nicht zu diesem Grade von Vollkommenheit gelangt sind. Denn wenn diese Instrumente so weit verbessert sind oder verbessert werden können, dass sie mit genügender Schärfe Objecte 5 oder 600 mal grösser erscheinen lassen, als wir sie mit unbewaffnetem Auge in 1 Fuss Entfernung sehen, dann hoffe ich, werden wir im Stande sein, einige der grössten dieser Körpertheilchen zu entdecken, und durch ein 3 bis 4000 mal vergrösserndes Mikroskop können sie wohl alle entdeckt werden, mit Ausnahme derer, die das Schwarz hervorbringen. Bis dahin sehe ich in diesen Erörterungen nichts Wesentliches, das vernünftiger Weise zu bezweifeln wäre, ausgenommen den Satz, dass durchsichtige Körperchen dieselbe Farbe zeigen, wie ein dünnes Blättchen von der nämlichen Dicke und derselben Dichtigkeit. Ich will dies auch nicht in aller Strenge verstanden wissen, sowohl deshalb, weil diese Körperchen von unregelmässiger Gestalt sein können und viele Strahlen schief auf sie fallen müssen und so einen kürzeren Weg durch sie zurückzulegen haben, als ihr Durchmesser ist, als auch, weil der Druck des allseitig von solchen Körperchen eingeengten Mediums die Bewegungen oder andere Eigenschaften, von denen die Reflexion abhängt, ein wenig verändern kann. Das Letztere kann ich jedoch kaum annehmen, weil ich an manchen dünnen Glimmerblättchen, die von gleichmässiger Dicke waren,

beobachtet habe, dass sie, durch das Mikroskop betrachtet, an ihren Rändern und Ecken, wo das eingeschlossene Medium angrenzte, dieselbe Farbe zeigten, wie an anderen Stellen. Immerhin würde es uns alle Zweifel benehmen, wenn diese Körperchen mit Hülfe der Mikroskope entdeckt werden könnten; erreichen wir dies aber schliesslich, so fürchte ich, es möchte die äusserste Vervollkommnung unsres Gesichtssinnes erreicht sein; denn wegen der Durchsichtigkeit dieser Körperchen scheint es unmöglich, das noch geheimere und erhabenere Wirken der Natur im Inneren der Körpertheilchen zu erkennen.

Prop. VIII.

Die Ursache der Reflexion beruht nicht in dem Auftreffen des Lichts auf die festen und undurchdringlichen Körpertheilchen, wie man gewöhnlich annimmt.

Dies wird aus folgenden Betrachtungen klar.

Erstens: Beim Uebergange des Lichts aus Glas in Luft findet eine ebenso starke Reflexion statt, wie bei dem aus Luft in Glas, oder vielmehr eine etwas stärkere, und eine viel stärkere als beim Uebergange aus Glas in Wasser. Und es ist doch unwahrscheinlich, dass Luft stärker zurückwerfende Theilchen haben sollte, als Wasser oder Glas. Wollte man dies dennoch für möglich halten, so würde das auch nichts helfen, denn die Reflexion ist ebenso stark oder stärker, wenn die Luft vom Glase entfernt worden ist (etwa durch die von *Otto Guericke* erfundene und von Herrn *M. Boyle* verbesserte und nutzbar gemachte Luftpumpe), als wenn sie daran anliegt.

Zweitens: Wenn Licht bei seinem Uebergange aus Glas in Luft unter stärkerer Neigung, als unter 40 oder 41° auftrifft, wird es total reflectirt, sonst wird es in reichlicher Menge durchgelassen. Nun kann man sich doch nicht vorstellen, dass das Licht bei der einen Neigung in der Luft auf genügend viel Poren treffe, um grösstentheils durchgelassen zu werden, und dass es bei einer anderen Neigung nur Theilchen treffen sollte, die es total reflectiren, zumal wenn man bedenkt, dass es beim Uebertritt aus Luft in Glas, wie schief auch der Einfall stattfinden möge, genug Poren im Glase findet, die es in reichlicher Menge durchlassen. Sollte Jemand die Annahme machen, dass es nicht von der Luft,

Digitized by Google

sondern von den äussersten Oberflächentheilchen des Glases zurückgeworfen werde, so besteht doch noch dieselbe Schwierigkeit, abgesehen davon, dass eine solche Annahme nicht recht einzusehen ist und selbst dann falsch erscheint, wenn man hinter manchen Glaspartikeln Wasser statt Luft annimmt. Denn während die Strahlen bei passendem Neigungswinkel, etwa von 45 oder 46°, sämmtlich reflectirt werden, wo Luft das an das Glas anstossende Medium ist, werden sie in reichlichem Maasse da durchgelassen, wo Wasser daran stösst. Dies beweist, dass ihre Reflexion und ihr Hindurchgehen von der inneren Beschaffenheit der Luft und des Wassers hinter dem Glase abhängen und nicht von dem Auftreffen der Strahlen auf die Glastheilchen.

Drittens: Wenn ein Prisma bei einer Oeffnung, durch die ein Lichtstrahl in ein verdunkeltes Zimmer fällt, aufgestellt ist, und die von ihm erzeugten Farben der Reihe nach auf ein zweites Prisma geworfen werden, welches in grösserer Entfernung von ersterem steht, so dass sie alle in gleicher Weise darauf fallen, so wird das zweite Prisma so geneigt gegen die einfallenden Strahlen stehen können, dass die blauen sämmtlich reflectirt, die rothen aber ziemlich reichlich durchgelassen werden. Wenn nun die Reflexionen durch die Theilchen der Luft oder des Glases verursacht wären, so möchte ich fragen, warum bei demselben Einfallswinkel das Blau vollständig auf Theilchen trifft, die es zurückwerfen, während das Roth genug Poren findet, um in grosser Menge durchgelassen zu werden.

Viertens: Wo sich zwei Gläser berühren, da giebt es, wie aus der 1. Beobachtung hervorgeht, keinerlei merkliche Reflexion; ich sehe nun keinen Grund ein, warum die Strahlen auf die Glastheilchen nicht ebenso auftreffen sollten, wenn das Glas an ein anderes Glas stösst, als wenn es an die Luft grenzt.

Fünftens: Wenn der oberste Theil einer Seifenblase (in der 17. Beobachtung) durch das beständige Abfliessen und Verdunsten des Wassers sehr dünn wurde, reflectirte er eine so geringe und fast unmerkliche Menge Licht, dass er ganz schwarz erschien, während doch rund um diesen schwarzen Fleck, wo die Wasserschicht dicker war, so starke Reflexion stattfand, dass das Wasser ganz weiss aussah. Auch gilt es nicht bloss von den dünnsten Stellen dünner Blättchen oder Blasen, dass sie keine deutliche Reflexion geben, sondern auch

Digitized by Google

von vielen anderen, allmählich immer grösseren Dicken. Denn in der 15. Beobachtung wurden die Strahlen der nämlichen Farbe in unbestimmter Zahl von Aufeinanderfolgen abwechselnd bei der einen Dicke durchgelassen, bei einer anderen reflectirt. Und doch giebt es an der Oberfläche eines dünnen Körpers ebenso viele Stellen von einer bestimmten Dicke, auf welche die Strahlen treffen können, als von irgend einer anderen.

Sechstens: Wenn die Reflexion durch die Theilchen der reflectirenden Körper verursacht würde, so wäre es unmöglich, dass dünne Blättchen oder Blasen an derselben Stelle die Strahlen einer Farbe reflectiren, wo sie die einer anderen durchlassen, wie dies nach der 13. und 15. Beobachtung der Fall ist. Denn man könnte nicht begreifen, wie an einer und derselben Stelle die Strahlen, die z. B. Blau erzeugen, durch Zufall auf die Körpertheilchen auftreffen und die, welche Roth geben, auf die Poren treffen sollten, und dass umgekehrt an einer anderen Stelle, wo der Körper etwas dicker oder dünner ist, das Blau auf die Poren und das Roth auf die Körpertheilchen fallen sollte.

Endlich: Würden die Lichtstrahlen durch das Anprallen an den festen Körpertheilchen reflectirt, so könnte die Reflexion an geschliffenen Körpern nicht so regelmässig sein, wie es der Fall ist. Denn wenn Glas mittelst Sand, Zinnasche oder Tripel geschliffen wird, darf man nicht glauben, dass diese Substanzen durch das Kratzen und Reiben des Glases allen seinen kleinsten Theilchen eine so genaue Politur verleihen, dass ihre Oberflächen sämmtlich vollkommen eben oder vollkommen sphärisch und sie selbst alle so gelagert sind, dass sie zusammen eine ganz gleichmässige Oberfläche darstellen. Je kleiner die Partikeln dieser Substanzen sind, desto kleiner werden die Rillen und Furchen sein, die sie beim Bearbeiten des Glases machen, bis dasselbe polirt ist; aber seien sie noch so klein, so können sie doch das Glas nicht anders bearbeiten, als durch Kratzen und Ritzen und Abbrechen der hervorragenden Theilchen, so dass das Poliren des Glases in nichts anderem besteht, als darin, die Rauhheit seiner Oberfläche zu vermindern und die Kritzel und Rillen so klein zu machen, dass sie nicht mehr wahrnehmbar sind. Wenn also das Licht durch Auftreffen auf die festen Glastheilchen reflectirt würde, so müsste es durch das bestgeschliffene Glas ebenso zerstreut werden, wie durch das rauheste. Demnach bleibt es unerklärt, wie das durch kratzende Sub-

stanzen polirte Glas das Licht so regelmässig zurückwerfen kann, wie es der Fall ist. Dieses Problem ist kaum anders zu lösen, als dass man sagt, dass die Reflexion der Strahlen nicht durch einen einzelnen Punkt des reflectirenden Körpers bewirkt werde, sondern durch eine gewisse, gleichmässig über die ganze Oberfläche verbreitete Kraft des Körpers, mit welcher er ohne unmittelbare Berührung auf den Strahl einwirkt. Denn dass die Körpertheilchen aus der Entfernung auf das Licht einwirken, soll in der Folge gezeigt werden.

Wenn nun das Licht nicht durch Auftreffen auf die festen Körpertheilchen, sondern durch irgend eine andere Ursache reflectirt wird, so ist es wahrscheinlich, dass seine Strahlen, insoweit sie wirklich auf feste Körpertheilchen stossen, nicht zurückgeworfen, sondern innerhalb des Körpers verlöscht und vernichtet werden. Würden alle Strahlen, welche die inneren Theilchen von klarem Wasser oder Krystall treffen, reflectirt, so würden diese Substanzen eher eine wolkige Farbe besitzen, als klare Durchsichtigkeit. Um Körper schwarz erscheinen zu lassen, müssen viele Strahlen aufgehalten werden und im Innern verloren gehen, und es ist nicht wahrscheinlich, dass ein Strahl im Innern derselben aufgehalten und verlöscht werde, ohne auf die Körpertheilchen zu stossen.

Wir erkennen daraus, dass die Körper viel lockerer und poröser sind, als man gewöhnlich glaubt. Wasser ist 19 mal leichter und in Folge dessen 19 mal dünner, als Gold, und Gold ist so porös, dass es leicht und ohne den geringsten Widerstand magnetische Wirkungen hindurchgehen, Quecksilber in seine Poren eindringen und selbst Wasser durchgehen lässt. Wenn nämlich eine hohle, mit Wasser gefüllte und verlöthete Goldkugel einem starken Drucke ausgesetzt wird, so lässt sie, wie mir von einem Augenzeugen berichtet worden ist, das Wasser hindurchsickern, dass es in zahlreichen Tropfen, wie Thau, auf ihrer Oberfläche steht, ohne dass der Goldkörper zerberstet. Daraus können wir schliessen, dass Gold mehr Poren, als feste Theilchen besitzt, und dass mithin das Wasser mehr als 40 mal soviel Poren, als feste Theilchen hat. Wenn sich Jemand Wasser so locker [rare] vorstellen könnte, ohne dass es doch durch äussere Kraft zusammendrückbar wäre, der würde unzweifelhaft auf Grund der nämlichen Vorstellung [hypothesis] Gold, Wasser und alle anderen Körper sich so porös denken können, als ihm

beliebte, so dass das Licht durch [alle] durchsichtigen Substanzen Raum für freien Durchgang fände.

Der Magnet[6]) wirkt auf das Eisen durch alle dichten Körper, die nicht magnetisch oder rothglühend sind, mit unverminderter Kraft hindurch, z. B. durch Gold, Silber, Blei, Glas, Wasser. Die anziehende Kraft der Sonne wirkt unvermindert durch die gewaltig grossen Planetenkörper, so dass sie mit derselben Stärke und nach demselben Gesetze bis nach dem Mittelpunkte hin auf deren Theilchen wirkt, als ob diese gar nicht von dem Planeten umgeben wären. Die Lichtstrahlen bewegen sich, mögen sie nun kleine vorwärts gestossene Körperchen sein oder nur eine Bewegung oder Kraftausbreitung, in geraden Linien, und ein Strahl, der irgend einmal durch ein Hinderniss von seinem geradlinigen Wege abgelenkt würde, kehrt nie wieder in die nämliche geradlinige Richtung zurück, es müsste denn durch einen ganz ausserordentlichen Zufall geschehen. Und doch wird das Licht in gerader Linie durch feste, durchsichtige Körper bis auf grosse Entfernungen durchgelassen. Wie die Körper genug Poren besitzen können, um diese Wirkung hervorzubringen, ist schwer, aber vielleicht nicht ganz unmöglich zu begreifen. Denn die Körperfarben entstehen, wie oben auseinandergesetzt, daraus, dass die sie reflectirenden Körpertheilchen von einer bestimmten Grösse sind. Wenn wir uns nun vorstellen, dass diese Körpertheilchen so vertheilt liegen, dass die Intervalle oder leeren Räume dazwischen von gleicher Grösse mit ihnen seien, und dass diese Körperchen selbst wieder aus anderen, noch kleineren Theilchen zusammengesetzt seien, die ebenfalls zwischen sich ebenso viele, ihnen an Grösse gleiche Hohlräume haben, und dass diese kleineren Theilchen in derselben Weise wieder aus kleineren Partikeln zusammengesetzt seien, alle von gleicher Grösse, wie die Hohlräume zwischen ihnen, und so fort, bis wir zu festen Theilchen gelangen, die keine Poren oder leeren Räume zwischen sich haben, und wenn irgend ein Körper z. B. drei solcher Grade von Theilchen, deren kleinste fest sind, besitzt, so wird dieser Körper siebenmal soviel Poren, als feste Theilchen besitzen. Giebt es aber vier Grade von Theilchen, deren kleinste fest sind, so wird der Körper 15 mal soviel Poren, als feste Partikeln haben; sind es 5 Grade, so hat er 31 mal soviel, bei 6 Graden 63 mal soviel Poren, als feste Theilchen, u. s. f. Es giebt noch andere Mittel, zu begreifen, wie die Körper so ausserordentlich porös

Digitized by Google

sein können, aber ihren wahren inneren Bau kennen wir noch nicht.

Prop. IX.

Die Körper reflectiren und brechen das Licht durch eine und dieselbe Kraft, die unter verschiedenen Umständen in verschiedener Weise in Thätigkeit tritt.

Dies erhellt aus verschiedenen Gründen; erstens daraus, dass Licht, welches so schief als nur möglich aus Glas in Luft übertritt, total reflectirt wird, sobald der Einfall noch schiefer stattfindet. Denn nachdem die Kraft des Glases das Licht so schief als nur möglich gebrochen hat, wird sie zu stark, um bei noch grösserer Neigung die einfallenden Strahlen hindurchgehen zu lassen, und verursacht mithin totale Reflexion. Zweitens ergiebt sich der Satz daraus, dass Licht durch dünne Glasblättchen in zahlreichen Aufeinanderfolgen abwechselnd reflectirt und durchgelassen wird, in dem Maasse, wie die Dicke des Blättchens nach arithmetischer Progression zunimmt, denn hier bestimmt die Dicke des Glases, ob die Kraft, mit welcher das Glas auf das Licht wirkt, es zurückwerfen oder durchlassen soll. Drittens folgt der Satz daraus, dass diejenigen Oberflächen durchsichtiger Körper, welche die grösste brechende Kraft besitzen, auch die grösste Lichtmenge reflectiren, wie dies in der 1. Prop. gezeigt worden ist.

Prop. X.

Wenn das Licht in den Körpern schneller ist, als im leeren Raume, und zwar im Verhältniss der die Brechung der Körper messenden Sinus, so sind die das Licht reflectirenden und brechenden Kräfte der Körper den Dichten derselben nahezu proportional, mit Ausnahme der fettigen und schwefeligen Körper, welche stärker brechen, als andere von gleicher Dichte.

Es sei AB (Fig. 8) die brechende ebene Oberfläche eines Körpers und IC ein bei C sehr schief auf ihn fallender Strahl, so dass der Winkel ACI sehr klein ist, und CR sei der gebrochene Strahl. Von einem gegebenen Punkte B errichte man senkrecht zur brechenden Fläche die Linie BR, die den gebrochenen Strahl CR in R trifft. Wenn dann

Digitized by Google

CR die Bewegung des gebrochenen Strahles darstellt, und diese in die beiden Bewegungen CB und BR zerlegt wird, von denen CB der brechenden Ebene parallel, BR darauf senkrecht ist, so wird CB die Bewegung des einfallenden Strahles und BR die durch die Brechung erzeugte Bewegung darstellen, wie dies vor Kurzem von Schriftstellern über Optik auseinandergesetzt worden ist.

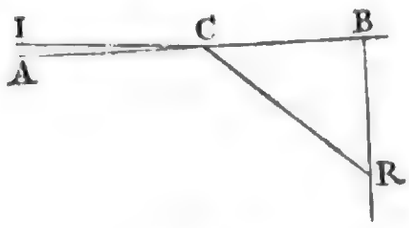

Fig. 8.

Wenn nun irgend ein Körper oder, was es auch sei, sich durch einen beiderseits von parallelen Ebenen begrenzten Raum von gegebener Breite bewegt und an allen Stellen dieses Raumes durch Kräfte vorwärts gestossen wird, welche direct gegen die letzte Ebene wirken, und vor seinem Auftreffen auf die erste Ebene keine oder nur eine unendlich kleine Bewegung gegen dieselbe besass, und wenn an allen Stellen des Raumes zwischen den Ebenen die Kräfte in gleichen Abständen von den Ebenen einander gleich, in verschiedenen Abständen in einem bestimmten Verhältnisse grösser oder kleiner sind, so wird die durch die Kräfte beim Durchgange des Körpers durch den Raum hervorgebrachte Bewegung der Quadratwurzel aus der Kraft proportional sein, wie Mathematiker leicht verstehen werden. Wenn daher der Wirkungsbereich der brechenden Kraft des Körpers als ein solcher Raum betrachtet wird, so muss die durch die brechende Kraft des Körpers hervorgebrachte Bewegung des Strahles während seines Durchganges durch den Raum, d. h. die Bewegung BR der Quadratwurzel aus der brechenden Kraft proportional sein. Daher sage ich, dass das Quadrat die Linie BR und folglich die brechende Kraft des Körpers sich nahezu wie die Dichtigkeit desselben verhält[7]). Dies ergiebt sich aus der folgenden Tabelle, in welcher die Verhältnisse der Sinus, welche die Brechungen der verschiedenen Körper messen, das Quadrat der Linie BR (CB als Einheit genommen), die nach ihren specifischen Gewichten beurtheilten Dichtigkeiten der Körper und ihre brechende Kraft im Verhältniss zu ihrer Dichtigkeit in Colonnen neben einander gestellt sind.

by Google

Brechender Körper	Verhältniss des Sinus des Einfalls zum Sinus der Brechung für gelbes Licht	Das Quadrat von *B R*, welchem die brechende Kraft des Körpers proportional ist	Dichtigkeit und specif. Schwere des Körpers	Brechende Kraft des Körpers im Verhältniss zu seiner Dichtigkeit
Unechter Topas, ein natürlicher, durchsichtiger, bröckeliger Stein von gelber Farbe	23 : 14	1,699	4,27	3979
Luft	3201 : 3200	0,000 625	0,0012	5208
Antimonglas	17 : 9	2,568	5,28	4864
Selenit	61 : 41	1,213	2,252	5386
gemeines Glas	31 : 20	1,4025	2,58	5436
Bergkrystall	25 : 16	1,445	2,65	5450
Isländischer Krystall	5 : 3	1,778	2,72	6536
Steinsalz	17 : 11	1,388	2,143	6477
Alaun	35 : 24	1,1267	1,714	6570
Borax	22 : 15	1,1511	1,714	6716
Salpeter	32 : 21	1,345	1,9	7079
Danziger Vitriol	303 : 200	1,295	1,715	7551
Vitriolöl	10 : 7	1,041	1,7	6124
Reines Wasser	529 : 396	0,7845	1	7845
Gummi arabicum	31 : 21	1,179	1,375	8574
Rectificirter Weingeist	100 : 73	0,8765	0,866	10 121
Kampher	3 : 2	1,25	0,996	12 551
Olivenöl	22 : 15	1,1511	0,913	12 607
Leinöl	40 : 27	1,1948	0,932	12 819
Terpentinspiritus	25 : 17	1,1626	0,874	13 222
Bernstein	14 : 9	1,42	1,04	13 654
Diamant	100 : 41	4,949	3,4	14 556

Die in dieser Tafel angegebene Brechung der Luft ist die von Astronomen bestimmte Brechung der Atmosphäre. Denn wenn Licht durch mehrere brechende Medien geht, welche allmählich dichter und dichter werden, so ist die Summe aller Brechungen der einfachen Brechung gleich, die es erfahren würde, wenn es unmittelbar aus dem ersten in das letzte Medium ginge. Dies bleibt auch richtig, wenn die Anzahl der brechenden Substanzen ins Unendliche wächst und ihr Abstand von einander so abnimmt, dass das Licht an jedem Punkte seiner Bahn durch continuirliche Brechungen in einer krummen Linie geht. Daher muss die gesammte Brechung des Lichts beim Uebergange aus den höchsten und dünnsten Schichten der Atmosphäre bis herab zu den niedrigsten und dichtesten Theilen derselben der Brechung gleich sein, welche es bei gleicher Neigung erfahren würde, wenn es

unmittelbar aus dem leeren Raume in Luft von der Dichtigkeit der untersten Schichten der Atmosphäre überginge.

Obgleich nun ein unechter Topas, ein Selenit, Bergkrystall, isländischer Krystall, gemeines (d. i. mit Sand vermengtes) Glas und Antimonglas, welches erdige, steinerne, alkalische Concretionen sind, und Luft, welche vermuthlich auf dem Wege der Gährung aus derartigen Stoffen hervorgeht, Substanzen von sehr verschiedener Dichte sind, so zeigt doch die Tabelle, dass ihre brechenden Kräfte fast in demselben Verhältnisse zu einander stehen, wie ihre Dichtigkeiten, nur dass die Brechung des isländischen Krystalls, einer ganz besonderen Substanz, etwas grösser ist, als die übrigen. Insbesondere hat die Luft, welche 3500 mal dünner, als der unechte Topas, 4400 mal dünner, als Antimonglas, 2000 mal dünner als Selenit, gemeines Glas oder Bergkrystall ist, trotz dieser geringen Dichte dieselbe brechende Kraft im Verhältniss zu ihrer Dichte, wie jene ganz dichten Substanzen, ausgenommen insoweit diese selbst von einander abweichen.

Vergleicht man ferner die Brechung von Kampher, Olivenöl, Leinöl, Terpentinspiritus und Bernstein, welches fette, brenzliche Körper sind, und die des Diamants, der wahrscheinlich eine fettige Substanz in geronnenem Zustande ist, so stehen ihre brechenden Kräfte sämmtlich ohne beträchtliche Abweichungen zu einander in demselben Verhältnisse, wie ihre Dichtigkeiten; doch ist die brechende Kraft dieser fettigen Substanzen zwei- bis dreimal grösser im Verhältniss zu ihrer Dichte, als bei den vorher genannten.

Die brechende Kraft des Wassers steht etwa in der Mitte zwischen diesen zwei Gattungen von Substanzen, und seine Natur selbst hält zwischen ihnen die Mitte; denn aus ihm gehen alle pflanzlichen und thierischen Stoffe hervor, wie sie ebensowohl aus schwefelartigen, fetten und entzündbaren, wie aus erdigen, mageren und alkalischen Theilen bestehen.

Salze und Vitriole besitzen brechende Kräfte in einem mittleren Grade zwischen denen der erdigen Substanzen und dem des Wassers, und sind demgemäss aus diesen zwei Arten von Substanzen zusammengesetzt. Denn durch Destillation und Rectification ihres Spiritus wird ein grosser Theil derselben zu Wasser, und ein anderer grosser Theil bleibt in Gestalt einer trockenen, feuerfesten Erde zurück, die sich verglasen lässt.

Die brechende Kraft des Weingeistes liegt in der Mitte

Digitized by Google

zwischen der des Wassers und der öliger Substanzen; dieser scheint demnach aus beiden zusammengesetzt, die sich bei der Gährung vereinigt haben, indem das Wasser mit Hülfe eines gewissen salzigen Spiritus, mit dem es imprägnirt ist, das Oel auflöst und durch seine Einwirkung verflüchtigt. Denn Weingeist ist in Folge seiner öligen Bestandtheile brennbar und wird, wenn er wiederholt aus Weinstein destillirt wird, bei jeder Destillation wässeriger und schleimiger. Chemiker beobachten, dass gewisse Pflanzen, wie Lavendel, Raute, Majoran etc., für sich allein destillirt, vor der Gährung Oel ohne brennenden Weingeist liefern, aber nach der Gährung brennbaren Spiritus ohne Oel; dies zeigt, dass ihr Oel durch die Gährung in Spiritus verwandelt wird. Chemiker haben ferner gefunden, dass Oele, die in kleiner Menge auf gährende Pflanzenstoffe gegossen werden, nach der Gährung in Gestalt von Spiritus destilliren.

So scheinen nach der Tabelle alle Körper brechende Kräfte zu besitzen, die ihrer Dichtigkeit proportional (oder doch ganz nahe proportional) sind, insoweit sie nicht mehr oder weniger schwefelartige, ölige Partikeln enthalten, die ihre brechende Kraft vermehren oder vermindern. Daher kann man mit Recht die brechende Kraft aller Körper hauptsächlich, wenn nicht gänzlich, ihren schwefelartigen Theilchen zuschreiben, von denen sie eine reichliche Menge besitzen; denn es ist wahrscheinlich, dass alle Körper mehr oder weniger davon enthalten. Und ebenso, wie das Licht, durch ein Brennglas concentrirt, auf schwefelige Körper am kräftigsten einwirkt und sie zu Feuer und Flamme entzündet, so müssen, weil alle Wirkungen gegenseitige sind, schwefelige Körper am stärksten auf das Licht einwirken. Dass nämlich die Wirkung zwischen Licht und den Körpern eine gegenseitige ist, kann auch aus der Erwägung einleuchten, dass die dichtesten Körper, die das Licht am kräftigsten brechen und reflectiren, durch die Wirkung des gebrochenen und reflectirten Lichts in der Sommersonne am heissesten werden.

Ich habe bis jetzt die Kräfte der Körper, zu reflectiren und zurückzuwerfen, auseinandergesetzt und habe gezeigt, dass dünne Blättchen, Fasern und kleine Theilchen der Körper je nach ihrer verschiedenen Dicke und Dichtigkeit verschiedene Strahlenarten zurückwerfen und deshalb in verschiedenen Farben erscheinen, dass also zur Erzeugung aller natürlichen Körperfarben nichts weiter nöthig ist, als verschiedene Grössen

Digitized by Google

und Dichtigkeiten der durchsichtigen Theilchen. Woher es aber kommt, dass diese Blättchen, Fasern und Theilchen je nach ihrer Dicke und Dichtigkeit verschiedene Strahlenarten reflectiren, habe ich noch nicht erklärt. Um in diesen Gegenstand der Untersuchung einigen Einblick zu gewähren und das Verständniss für den nächsten Theil dieses Buches vorzubereiten, will ich diesen Theil mit noch einigen weiteren Propositionen schliessen. Jene, die vorhergehenden, betreffen die Natur der Körper, diese die Natur des Lichts; beide müssen verstanden werden, ehe die Ursache ihrer gegenseitigen Einwirkung auf einander erkannt werden kann. Und da die letzte Proposition von der Geschwindigkeit des Lichts abhängt, so will ich zunächst mit dieser beginnen.

Prop. XI.

Das Licht breitet sich von den leuchtenden Körpern her in einer gewissen Zeit aus und braucht von der Sonne bis zur Erde etwa sieben bis acht Minuten.

Dies ist zuerst von *Römer*, und dann auch von Anderen auf Grund der Verfinsterungen der Jupitermonde beobachtet worden. Diese Verfinsterungen treten, wenn die Erde zwischen Sonne und Jupiter steht, ungefähr 7 oder 8 Minuten früher ein, als sie nach den Tafeln sollten, und wenn die Erde hinter der Sonne steht, 7 bis 8 Minuten später, als sie eintreten müssten. Der Grund ist, dass das Licht der Trabanten im letzteren Falle um den Durchmesser der Erdbahn weiter zu gehen hat, als im ersteren Falle. Einige Ungleichheiten in der Zeit mögen aus der Excentricität der Trabantenbahnen entspringen, diese werden aber nicht bei allen Trabanten und zu allen Zeiten der Stellung und Entfernung der Erde von der Sonne entsprechen können. Die mittlere Bewegung der Satelliten ist auch auf dem Wege vom Aphel zum Perihel schneller, als im anderen Theile der Bahn, aber diese Ungleichheit hat keine Beziehung zur Stellung der Erde und ist bei den drei inneren Satelliten, wie ich durch Berechnung aus der Theorie ihrer Gravitation gefunden habe, gar nicht wahrzunehmen.

Digitized by Google

Prop. XII.

Jeder Lichtstrahl erlangt bei seinem Durchgange durch eine brechende Fläche eine gewisse Eigenschaft oder Disposition, welche im weiteren Verlaufe des Strahls in gleichen Intervallen wiederkehrt und ihn bei jeder Wiederkehr befähigt, durch die nächste brechende Fläche leicht durchgelassen zu werden, und zwischen jeder Wiederkehr, leicht reflectirt zu werden.

Dies ergiebt sich aus der 5., 9., 12. und 15. Beobachtung; denn aus diesen Beobachtungen ist klar, dass eine und dieselbe Strahlenart, wenn sie unter gleichem Winkel auf ein dünnes durchsichtiges Blättchen fällt, in mehreren Aufeinanderfolgen abwechselnd zurückgeworfen und durchgelassen wird, in dem Maasse, wie die Dicke des Blättchens nach der arithmetischen Progression der Zahlen 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 etc. wächst, und zwar in der Weise, dass, wenn die erste Reflexion (welche den ersten oder innersten der dort beschriebenen Farbenringe liefert) bei der Dicke 1 eintritt, die Strahlen bei der Dicke 0, 2, 4, 6, 8, 10 etc. durchgelassen werden und daher den dunklen Fleck und die bei durchgehendem Lichte erscheinenden Ringe bilden, und bei der Dicke 1, 3, 5, 7, 9, 11 etc. reflectirt werden und die bei Reflexion auftretenden Ringe hervorrufen. Dieses abwechselnde Reflectiren und Durchlassen wiederholt sich, wie ich aus der 24. Beobachtung schliesse, in mehr als 100 Aufeinanderfolgen und nach den Beobachtungen im nächsten Theile dieses Buches viele tausendmal, indem diese Wechsel sich von einer Oberfläche eines Glasblättchens zur anderen fortpflanzen, selbst wenn die Dicke des Blättchens $\frac{1}{4}$ Zoll oder mehr beträgt, so dass dieser Wechsel von jeder brechenden Oberfläche aus ohne Ende und ohne Grenzen sich weiter fortzupflanzen scheint.

Diese abwechselnde Reflexion und Brechung hängt von beiden Oberflächen des dünnen Blättchens ab, weil sie von deren gegenseitiger Entfernung abhängt. Nach der 21. Beobachtung werden, wenn die eine oder andere Fläche eines dünnen Glimmerblättchens angefeuchtet wird, die durch Reflexion und Brechung erzeugten Farben schwach, und deshalb hängen Reflexion und Brechung von den beiden Oberflächen ab.

Sie entstehen demnach an der zweiten Oberfläche; denn wenn sie an der ersten hervorgerufen würden, ehe die Strahlen

an der zweiten Fläche anlangen, würden sie nicht von der zweiten abhängen.

Zudem hängen sie von einer gewissen Bewegung oder Disposition ab, die von der ersten zur zweiten Fläche fortgepflanzt wird, weil sie sonst beim Anlangen an der zweiten Fläche nicht von der ersten abhängen würde[8]). Diese Disposition breitet sich in der Weise aus, dass sie in gleichen Intervallen aussetzt und wiederkehrt, weil sie bei ihrem Fortschreiten den Strahl in einer gewissen Entfernung von der ersten Fläche geneigt macht, von der zweiten Fläche reflectirt zu werden, in einer anderen Entfernung ihn befähigt, durchgelassen zu werden, und zwar in gleichen Intervallen und in unzähligem Wechsel. Und weil der Strahl in den Abständen 1, 3, 5, 7, 9 etc. zur Reflexion, in den Abständen 0, 2, 4, 6, 8, 10 etc. zum Hindurchgehen geneigt ist (denn sein Durchgang durch die erste Fläche erfolgt beim Abstand 0, und er wird durch beide Flächen zugleich hindurchgelassen, wenn deren Abstand unendlich klein oder doch viel kleiner, als 1 ist), so muss man die Disposition, bei den Abständen 2, 4, 6, 8, 10 etc. durchgelassen zu werden, als eine Wiederkehr der nämlichen Disposition betrachten, die der Strahl beim Abstande 0 hatte, d. h. bei seinem Durchgange durch die erste brechende Fläche. Aus alledem ergiebt sich das, was ich eben beweisen wollte.

Ich untersuche hier nicht, worin dieses Verhalten oder diese Disposition besteht, ob in einer kreisförmigen oder einer schwingenden Bewegung des Strahles oder des Mediums, oder worin sonst. Wer nicht gewillt ist, irgend einer neuen Entdeckung zuzustimmen, ausser wenn er sie durch eine Hypothese zu erklären vermag, möge vorläufig annehmen, dass ebenso, wie auf Wasser fallende Steine dasselbe in Wellenbewegungen versetzen und alle Körper durch Stösse Schwingungen in der Luft erregen, ebenso die Lichtstrahlen, die auf eine brechende oder reflectirende Fläche fallen, in dem brechenden oder reflectirenden Medium Schwingungen hervorrufen und dadurch die festen Theilchen der brechenden und reflectirenden Körper in Bewegung versetzen und durch diese Bewegung erwärmen, dass die so erregten Schwingungen in dem reflectirenden oder brechenden Medium sich ungefähr auf dieselbe Weise fortpflanzen, wie die Schwingungen in der Luft, wenn sie Schall erregen, dass sie sich schneller fortpflanzen, als die Strahlen, so dass sie ihnen vorauseilen, und dass,

Digitized by Google

wenn ein Strahl sich in dem Theile der Schwingung befindet, der mit seiner eigenen Bewegung übereinstimmt, er leicht durch eine brechende Fläche hindurch geht, wenn er aber in dem entgegengesetzten Theile der Schwingung war, der seine Bewegung hindert, leicht reflectirt wird, dass also jeder Strahl durch jede ihn treffende Schwingung abwechselnd befähigt wird, leicht reflectirt oder leicht durchgelassen zu werden. Ob aber diese Hypothese richtig oder falsch ist, will ich hier gar nicht untersuchen; ich begnüge mich einfach, gefunden zu haben, dass die Lichtstrahlen durch irgend eine Ursache, welche es auch sei, in zahlreichen, wechselnden Aufeinanderfolgen die Fähigkeit oder die Neigung erhalten [are disposed], reflectirt oder gebrochen zu werden.

Definition.

Die periodisch wiederkehrende Disposition eines Strahles, reflectirt zu werden, will ich Anwandlung leichter Reflexion nennen, die wiederholt eintretende Disposition, durchgelassen zu werden, Anwandlung leichten Durchganges, und den Zwischenraum zwischen einer Wiederkehr und der nächstfolgenden das Intervall der Anwandlungen.

Prop. XIII.

Der Grund, weshalb die Oberflächen aller dicken, durchsichtigen Körper einen Theil des auf sie fallenden Lichts zurückwerfen, den anderen Theil brechen, ist der, dass einige Strahlen bei ihrem Auftreffen in der Anwandlung leichterer Reflexion, andere in der Anwandlung leichteren Durchganges sind.

Dies kann aus der 24. Beobachtung geschlossen werden, wo das von dünnen Luftschichten oder Glasblättchen reflectirte Licht, welches dem blossen Auge über das ganze Blättchen hinweg gleichmässig weiss erschien, durch ein Prisma betrachtet, in mehrfachen Folgen von Licht und Dunkelheit gewellt erschien, die durch Anwandlungen leichter Reflexion und leichten Durchganges entstanden, indem das Prisma die das reflectirte weisse Licht zusammensetzenden Wellen trennte und unterschied, wie früher auseinandergesetzt worden ist.

Digitized by Google

Daher ist das Licht vor seinem Auftreffen auf durchsichtige Körper in Anwandlungen leichter Reflexion und leichten Durchgehens und wird wahrscheinlich schon in solche Anwandlungen versetzt, wenn es von den leuchtenden Körpern ausgesandt wird, und behält sie während seines weiteren Fortganges; denn diese Anwandlungen haben eine dauernde Natur, wie aus dem nächsten Theile dieses Buches klar werden wird.

In dieser Proposition setze ich die durchsichtigen Körper als dicke voraus, weil der Körper seine reflectirende Kraft verliert, wenn seine Dicke viel kleiner ist, als das Intervall der Anwandlungen. Wenn nämlich die Strahlen, die bei ihrem Eintritt in die Körper in die Anwandlung leichten Durchganges versetzt werden, an der entfernteren Fläche des Körpers anlangen, bevor sie aus dieser Anwandlung heraus sind, so müssen sie durchgelassen werden. Dies ist der Grund, weshalb Seifenblasen, sobald sie sehr dünn werden, ihre reflectirende Kraft verlieren, und weshalb alle in sehr kleine Theilchen zertheilten undurchsichtigen Körper durchsichtig werden.

Prop. XIV.

Solche Oberflächen durchsichtiger Körper, die den Strahl am kräftigsten brechen, wenn er in einer Anwandlung leichter Brechung ist, reflectiren ihn am leichtesten, wenn er in einer Anwandlung der Reflexion ist.

Wir haben oben in Prop. VIII gezeigt, dass die Ursache der Reflexion nicht in dem Auftreffen des Lichts auf die festen, undurchdringlichen Körpertheilchen zu suchen ist, sondern in irgend einer anderen Kraft, mit welcher diese festen Theilchen aus der Entfernung auf das Licht wirken. Wir zeigten auch in Prop. IX, dass die Körper durch eine und dieselbe, unter verschiedenen Umständen in verschiedener Weise ausgeübte Kraft das Licht zurückwerfen und brechen, und in Prop. I, dass die am stärksten brechenden Flächen auch das meiste Licht reflectiren. Alles dies mit einander verglichen, bestätigt überzeugend sowohl diese, als die letzte Proposition.

Prop. XV.

Bei einer und derselben Art von Strahlen, die aus einer brechenden Fläche unter irgend einem Winkel in ein und dasselbe Medium übergehen, verhalten sich die Intervalle zwischen den auf einander folgenden Anwandlungen leichter Reflexion und leichten Durchganges entweder genau oder doch ganz nahe, wie das Rechteck aus der Secante des Brechungswinkels und der Secante eines anderen Winkels, dessen Sinus das erste von 106 arithmetischen Mitteln ist zwischen den Sinus des Einfalls und der Brechung, vom Sinus der Brechung aus gerechnet[9]).

Dies erhellt aus der 7. und 19. Beobachtung.

Prop. XVI.

Bei verschiedenen Arten von Strahlen, die unter gleichen Winkeln aus einer brechenden Fläche in ein und dasselbe Medium übergehen, verhalten sich die Intervalle der auf einander folgenden Anwandlungen leichter Reflexion und leichten Durchganges entweder genau oder doch ganz nahe wie die Cubikwurzeln aus den Quadraten der Längen einer Saite, welche die Töne einer Octave hervorbringt[10]), die mit allen ihren Zwischenstufen den Farben jener Strahlen entsprechen, gemäss der im 7. Versuche des 2. Theils vom 1. Buche beschriebenen Analogie.

Dies erhellt aus der 13. und 14. Beobachtung.

Prop. XVII.

Wenn Strahlen irgend welcher Art verschiedene Medien senkrecht durchlaufen, so verhalten sich die Intervalle leichter Reflexion und leichten Durchganges in irgend einem Medium zu denen in einem anderen, wie der Sinus des Einfalls zu dem der Brechung beim Uebergange aus dem ersten in das zweite dieser Medien.

Dies ergiebt sich aus der 10. Beobachtung.

Digitized by Google

Prop. XVIII.

Wenn die Strahlen, welche die an der Grenze von Gelb und Orange gelegenen Farben erzeugen, aus irgend einem Medium senkrecht in die Luft austreten, so betragen die Intervalle ihrer Anwandlungen leichter Reflexion $\frac{1}{89000}$ Zoll, und ebenso gross sind die Intervalle ihrer Anwandlungen leichten Durchganges.

Dies erhellt aus der 6. Beobachtung.

Aus diesen Sätzen ist es nun leicht, die Intervalle der Anwandlungen leichter Reflexion und leichten Durchganges irgend einer Strahlenart zu berechnen, die in irgend einem Winkel nach einem Medium gebrochen wird, und daraus zu erkennen, ob die Strahlen bei einem darauf folgenden Auftreffen auf irgend ein anderes durchsichtiges Medium reflectirt oder durchgelassen werden. Dies musste hier bemerkt werden, weil es zum Verständniss des nächsten Theiles dieses Buchs wesentlich beiträgt. Und aus dem nämlichen Grunde füge ich noch die zwei folgenden Propositionen hinzu.

Prop. XIX.

Wenn irgend eine Strahlenart, die auf die glatte Oberfläche eines durchsichtigen Mediums fällt, zurückgeworfen wird, so kehren die Anwandlungen leichter Reflexion, die sie in dem Punkte der Reflexion besitzt, fortdauernd wieder und zwar in Entfernungen von diesem Punkte, welche in der arithmetischen Progression der Zahlen 2, 4, 6, 8, 10 etc. stehen; zwischen diesen Anwandlungen aber befinden sich die Strahlen in Anwandlungen leichten Durchganges.

Da nämlich die Anwandlungen leichter Reflexion und leichten Durchganges ihrer Natur gemäss immer wiederkehren, so ist kein Grund vorhanden, weshalb die Anwandlungen, die so lange bestanden haben, bis der Strahl an der reflectirenden Fläche anlangte, und ihn dort zur Reflexion brachten, nun aufhören sollten. War nun der Strahl an dem Punkte, wo er reflectirt wird, in einer Anwandlung leichter Reflexion, so müssen die Abstände dieser Anwandlungen von diesem Punkte aus mit 0 beginnen und die Reihe der Zahlen 0, 2, 4, 6,

8 etc. bilden. Deshalb muss die Reihe der Abstände der zwischenliegenden Anwandlungen leichten Durchganges, von demselben Punkte aus gerechnet, die Reihe der ungeraden Zahlen 1, 3, 5, 7, 9 etc. bilden, während das Umgekehrte eintritt, wenn die Anwandlungen sich von Punkten der Brechung aus verbreiten.

Prop. XX.

Die von Punkten der Reflexion aus in irgend ein Medium sich ausbreitenden Intervalle der Anwandlungen leichter Reflexion und leichten Durchganges sind gleich den Intervallen der ähnlichen Anwandlungen, welche die nämlichen Strahlen haben würden, wenn sie nach demselben Medium unter Winkeln gebrochen werden, die ihren Reflexionswinkeln gleich sind.

Wenn Licht an der zweiten Fläche von dünnen Blättchen reflectirt worden ist, tritt es nachher an der ersten Fläche frei heraus, um die durch Reflexion entstehenden Farbenringe zu bilden, und lässt durch diesen freien Austritt die Farben dieser Ringe lebhafter und kräftiger erscheinen, als die, welche auf der anderen Seite des Blättchens in Folge des durchgelassenen Lichts auftreten. Die reflectirten Strahlen befinden sich also bei ihrem Austritte in Anwandlungen leichten Durchganges, und dies würde nicht immer der Fall sein, wenn nicht die Intervalle der Anwandlungen innerhalb des Blättchens vor und nach der Reflexion sowohl der Länge, als der Zahl nach einander gleich wären. Dies bestätigt auch die in der vorhergehenden Proposition aufgestellten Verhältnisszahlen. Denn wenn die Strahlen sowohl beim Eintritt, als bei ihrem Austreten aus der ersten Fläche in der Anwandlung leichten Durchganges sind, und wenn die Intervalle und die Anzahl dieser Anwandlungen zwischen den beiden Flächen vor und nach der Reflexion einander gleich sind, so müssen die Abstände der Anwandlungen leichten Durchganges von irgend einer der beiden Flächen vor und nach der Reflexion die nämliche Progression bilden, d. h. von der ersten Fläche, welche sie durchlässt, die Reihe der geraden Zahlen 0, 2, 4, 6, 8 etc. und die Abstände von der zweiten Fläche, welche sie reflectirt, die Reihe der ungeraden zahlen 1, 3, 5, 7 etc. Diese zwei letzten Propositionen wer-

Digitized by Google

den indessen noch viel einleuchtender durch die Beobachtungen im folgenden Theile dieses Buches.

Vierter Theil.

Beobachtungen über Reflexionen und Farben dicker, durchsichtiger, geschliffener Platten.

Es giebt kein Glas und keinen Spiegel, welche nicht, so sorgfältig sie auch geschliffen sein mögen, ausser dem von ihnen regelmässig gebrochenen und reflectirten Lichte nach allen Seiten hin noch ein schwaches Licht zerstreuten, mittelst dessen man bei jeder Stellung des Auges die polirte Fläche erblicken kann, sobald sie in einem dunklen Zimmer von einem Sonnenstrahle beleuchtet wird. Dieses zerstreute Licht bietet gewisse Erscheinungen, die mir bei ihrer ersten Beobachtung sehr sonderbar und überraschend erschienen. Diese Beobachtungen waren folgende:

1. Beobachtung. Als die Sonne durch eine $\frac{1}{3}$ Zoll weite Oeffnung in mein verdunkeltes Zimmer schien, liess ich einen Lichtstrahl senkrecht auf einen Glasspiegel fallen, welcher auf der einen Seite concav, auf der andern convex nach einer Kugel von 5 Fuss 11 Zoll Radius geschliffen und auf der convexen Seite amalgamirt war. Wenn ich nun ein undurchsichtiges weisses Papier in den Mittelpunkt der Kugeln hielt, welchen die Spiegelseiten angehörten, d. h. 5 Fuss 11 Zoll vom Spiegel entfernt, und zwar so, dass der Lichtstrahl durch ein kleines, in der Mitte des Papiers gemachtes Loch nach dem Spiegel hindurchging und von dort nach derselben Stelle zurückgeworfen wurde, so beobachtete ich auf dem Papiere vier oder fünf regenbogenartige Farbenringe, die das Loch fast in derselben Weise umgaben, wie die in der 4. und den folgenden Beobachtungen des 1. Theils (Buch II) zwischen den Objectivgläsern auftretenden Ringe den schwarzen Fleck umgaben, aber grösser und schwächer als jene. In dem Maasse, wie diese Ringe sich mehr und mehr erweiterten, wurden sie auch undeutlicher und schwächer, so dass der fünfte kaum noch zu sehen war; manchmal aber, wenn die Sonne recht hell schien, waren noch schwache Andeutungen eines sechsten und siebenten Ringes wahrzunehmen. War die Entfernung

des Papiers vom Spiegel beträchtlich grösser oder kleiner, als 6 Fuss, so wurden die Ringe undeutlich und verschwanden. War aber die Entfernung des Spiegels vom Fenster viel grösser, als 6 Fuss, so breitete sich in 6 Fuss Entfernung vom Spiegel, wo die Ringe auftraten, das reflectirte Lichtbündel so aus, dass es einen oder zwei der innersten Ringe verdunkelte. Deshalb brachte ich den Spiegel gewöhnlich in einer Entfernung von ungefähr 6 Fuss vom Fenster an, damit sein Brennpunkt mit seinem Krümmungsmittelpunkte bei den Ringen auf dem Papier zusammenfiel; diese Stellung ist in den folgenden Beobachtungen immer gemeint, wenn nicht ausdrücklich eine andere angegeben ist.

2. Beobachtung. Die Farben dieser Regenbogen-Ringe folgten auf einander vom Mittelpunkte aus nach aussen hin in derselben Weise und in der nämlichen Reihenfolge, wie die in der 9. Beobachtung des 1. Theils dieses Buches beschriebenen Farben, welche das von zwei Objectivgläsern nicht reflectirte, sondern durchgelassene Licht ergab. Denn erstens war da in ihrem gemeinschaftlichen Mittelpunkte ein weisser, runder Fleck von schwachem Lichte, etwas breiter, als das reflectirte Lichtbündel, welches bisweilen auf die Mitte des Flecks fiel, bisweilen auch in Folge einer kleinen Neigung des Spiegels von der Mitte des Flecks abwich und diesen bis an sein Centrum weiss liess.

Dieser weisse Fleck war unmittelbar umringt von einem dunklen Grau oder Braunroth, und dieses Grau von den Farben des ersten Ringes [Iris]; diese enthielten an der Innenseite, zunächst dem dunklen Grau, ein wenig Violett und Indigo, nach diesen ein Blau, welches an der Aussenseite blass wurde; hierauf folgte dann ein grünliches Gelb, dann ein helleres Gelb und schliesslich am Aussenrande des Farbenringes ein Roth, das an der Aussenseite nach Purpur neigte.

Dieser Farbenring war unmittelbar von einem zweiten umgeben, dessen Farben von innen nach aussen waren: Purpur, Blau, Grün, Gelb, Hellroth, Roth mit Purpur gemischt.

Hierauf folgten unmittelbar die Farben des dritten Farbenringes, die in der Reihenfolge von innen nach aussen waren: Grün, mit Neigung zu Purpur, ein gutes Grün, und ein Roth, heller, als das im vorigen Ringe.

Der vierte und fünfte Ring schienen auf der Innenseite bläulich-grün, aussen roth zu sein, doch so schwach, dass die Farben schwer zu unterscheiden waren.

Digitized by Google

3. Beobachtung. Als ich die Durchmesser dieser Ringe auf dem Papier mit möglichster Genauigkeit mass, fand ich sie ebenfalls in demselben Verhältnisse zu einander, wie bei den Ringen, die das durch zwei Objectivgläser hindurchgegangene Licht bildet. Denn die Durchmesser der vier ersten hellen Ringe, an den hellsten Stellen ihres Umfangs gemessen, betrugen bei 6 Fuss Entfernung vom Spiegel $1\frac{1}{16}$, $2\frac{3}{8}$, $2\frac{11}{12}$ und $3\frac{3}{8}$ Zoll, und die Quadrate dieser Zahlen bilden [ungefähr] die arithmetische Progression 1, 2, 3, 4. Rechnet man den weissen runden Fleck in der Mitte zu den Ringen und sein Licht in der Mitte, wo es am hellsten ist, gleichbedeutend mit einem unendlich kleinen Ringe, so bilden die Quadrate der Ringdurchmesser die Progression 0, 1, 2, 3, 4 etc. Ich mass auch die Durchmesser der zwischen diesen hellen gelegenen dunklen Kreise und fand, dass ihre Quadrate die Reihe der Zahlen $\frac{1}{2}$, $1\frac{1}{2}$, $2\frac{1}{2}$, $3\frac{1}{2}$, . . . bildeten, indem die Durchmesser der ersten vier bei 6 Fuss Abstand vom Spiegel $1\frac{3}{16}$, $2\frac{1}{16}$, $2\frac{2}{3}$, $3\frac{3}{20}$ Zoll[11]) betrugen. Wenn der Abstand des Papiers vom Spiegel grösser oder kleiner wurde, so nahmen auch die Durchmesser der Kreise in entsprechendem Verhältnisse zu oder ab.

4. Beobachtung. Nach der Analogie zwischen diesen Ringen und den in den Beobachtungen des 1. Theils dieses Buches beschriebenen vermuthete ich, dass es wohl noch viel mehr Ringe geben möchte, die sich in einander ausbreiten und durch Vermischung ihrer Farben so in einander übergreifen, dass man sie nicht mehr einzeln erkennen kann. Ich betrachtete sie deshalb, wie ich schon in der 24. Beobachtung des 1. Theils gethan hatte, durch ein Prisma. Wenn ich dieses so hielt, dass es das Licht ihrer vermischten Farben durch Brechung trennte und die Ringe von einander schied, wie bei jener 24. Beobachtung, so konnte ich sie deutlicher sehen, als zuvor, und leicht ihrer 9 oder 10, bisweilen auch 12 und 13 zählen. Und wäre das Licht nicht so schwach gewesen, so hätte ich, davon bin ich überzeugt, noch viel mehr gesehen.

5. Beobachtung. Ich stellte ein Prisma an das Fenster, um den eintretenden Lichtstrahl zu brechen und das längliche Farbenspectrum auf den Spiegel fallen zu lassen; hierauf bedeckte ich den Spiegel mit einem schwarzen Papier, welches in der Mitte eine Oeffnung hatte, um eine bestimmte Farbe nach dem Spiegel durchzulassen und die übrigen auf dem

Digitized by Google

Papiere aufzufangen. Auf diese Weise erhielt ich die Ringe nur von der einen Farbe, welche auf den Spiegel fiel. War der Spiegel mit Roth beleuchtet, so waren die Ringe ganz roth mit dunklen Zwischenräumen, war er von Blau getroffen, so waren sie gänzlich blau, und so bei anderen Farben. Wenn die Ringe auf diese Weise von einer einzigen Farbe gebildet wurden, so bildeten die Quadrate ihrer an den hellsten Stellen gemessenen Durchmesser die arithmetische Reihe der Zahlen 0, 1, 2, 3, 4, und die Quadrate der Durchmesser der dunklen Zwischenräume die Progression der zwischenliegenden Zahlen $\frac{1}{2}$, $1\frac{1}{2}$, $2\frac{1}{2}$, $3\frac{1}{2}$. Mit Aenderung der Farbe aber änderten sich ihre Grössen; bei Roth waren sie am grössten, bei Indigo und Violett am kleinsten, bei den mittleren Farben Gelb, Grün und Blau hatten sie eine mittlere, der Farbe entsprechende Grösse, d. h. bei Gelb waren sie grösser, als bei Grün, und bei Grün grösser, als bei Blau. Daraus erkannte ich, dass bei Beleuchtung des Spiegels mit weissem Lichte das Roth und Gelb an der Aussenseite der Ringe durch die am wenigsten brechbaren, das Blau und Violett durch die brechbarsten Strahlen hervorgerufen war, und dass die Farben jedes Ringes sich beiderseits in die der benachbarten Ringe in der im 1. und 2. Theile dieses Buchs auseinandergesetzten Weise ausbreiteten und durch diese Vermischung einander undeutlich machten, so dass man sie nur nahe beim Mittelpunkte deutlich unterscheiden konnte, wo sie am wenigsten vermischt waren. Denn bei dieser Beobachtungsweise konnte ich die Ringe deutlicher und in grösserer Anzahl, als sonst, erkennen, indem ich bei gelbem Lichte 8 oder 9 von ihnen zählen konnte und noch einen schwachen Schatten von einem 10. sah. Um mich zu versichern, bis zu welchem Grade die Farben der einzelnen Ringe in einander übergriffen, mass ich die Durchmesser des 2. und 3. Ringes und fand, dass, wenn die Ringe von der Grenze des Roth und Orange gebildet waren, ihre Durchmesser sich zu denen der Ringe, die von der Grenze zwischen Blau und Indigo herrührten, ungefähr wie 9 : 8 verhielten; es war schwer, dieses Verhältniss genau zu bestimmen. Ebenso waren die der Reihe nach von Roth, Gelb und Grün gebildeten Kreise mehr von einander verschieden, als die, welche der Reihe nach durch Grün, Blau und Indigo entstanden. Der vom Violett gebildete war zu dunkel, als dass man ihn sehen konnte. Um diese Berechnung weiter zu verfolgen, nehmen

wir an, dass die Differenzen der Durchmesser der Kreise, welche der Reihe nach entstehen vom äussersten Roth, von der Grenze des Roth und Orange, von der zwischen Orange und Gelb, zwischen Gelb und Grün, zwischen Grün und Blau, zwischen Blau und Indigo, zwischen Indigo und Violett, und vom äussersten Violett sich verhalten, wie die Differenzen der Längen[12]) eines die Töne einer Octave[10]) gebenden Monochords, d. h. wie die Zahlen $\frac{1}{9}$, $\frac{1}{18}$, $\frac{1}{12}$, $\frac{1}{12}$, $\frac{2}{27}$, $\frac{1}{27}$, $\frac{1}{18}$. Wenn der Durchmesser des von der Grenze zwischen Roth und Orange gebildeten Kreises $9A$ ist und der Durchmesser des von der Grenze zwischen Blau und Indigo entstandenen Kreises $8A$, wie oben, so wird sich ihre Differenz $9A—8A$ zu der Differenz der Durchmesser der vom äussersten Roth und von der Grenze des Roth und Orange gebildeten Kreise verhalten, wie $\frac{1}{18} + \frac{1}{12} + \frac{1}{12} + \frac{2}{27}$ zu $\frac{1}{9}$, d. i. wie $\frac{8}{27} : \frac{1}{9}$ oder wie 8 : 3, und zu der Differenz der vom äussersten Violett und von der Grenze des Blau und Indigo gebildeten Kreise, wie $\frac{1}{18} + \frac{1}{12} + \frac{1}{12} + \frac{2}{27}$ zu $\frac{1}{27} + \frac{1}{18}$, d. i. wie $\frac{8}{27} : \frac{5}{54}$ oder wie 16 : 5. Daher werden ihre Differenzen $\frac{3}{8}A$ und $\frac{5}{16}A$ betragen. Addirt man die erstere zu $9A$ und subtrahirt die letztere von $8A$, so hat man die Durchmesser der von den wenigst-brechbaren und von den brechbarsten Strahlen hervorgerufenen Ringe, nämlich $\frac{75}{8}A$ und $\frac{61\frac{1}{2}}{8}A$. Diese Durchmesser verhalten sich also zu einander, wie $75 : 61\frac{1}{2}$, oder wie 50 : 41, und ihre Quadrate, wie 2500 : 1681, d. i. nahezu wie 3 : 2. Dieses Verhältniss weicht gar nicht viel von dem Verhältnisse der Durchmesser der vom äussersten Roth und äussersten Violett gebildeten Kreise in der 13. Beobachtung des 1. Theils dieses Buches ab.

6. Beobachtung. Wenn ich mein Auge an die Stelle brachte, wo die Ringe am deutlichsten zu sehen waren, so sah ich den Spiegel über und über mit (rothen, gelben, grünen, blauen) welligen Farbenstreifen bedeckt, ähnlich denen, wie sie bei den Beobachtungen des 1. Theils dieses Buchs zwischen den Objectivgläsern und auf Seifenblasen erschienen, nur viel grösser; und ebenso, wie diese, hatten sie bei verschiedenen Stellungen des Auges verschiedene Grösse, indem sie sich ausdehnten oder zusammenzogen, je nachdem ich das Auge hierhin oder dorthin bewegte. Sie hatten, ebenso wie jene, die Gestalt von concentrischen Kreisbogen, und wenn ich das Auge dem Krümmungsmittelpunkte des Spiegels gegen-

Digitized by Google

über hielt (d. h. 5 Fuss 10 Zoll vom Spiegel entfernt), so lag ihr gemeinschaftlicher Mittelpunkt in einer geraden Linie mit diesem Krümmungsmittelpunkte und der Fensteröffnung. Bei anderen Stellungen meines Auges hatte ihr Mittelpunkt eine andere Lage. Diese Farbenstreifen erschienen, sobald das Licht der Wolken durch die Oeffnung im Fenster auf den Spiegel fiel; wenn aber Sonnenlicht darauf fiel, so war dasselbe von der Farbe des Ringes, auf den es fiel, verdunkelte aber durch seinen Glanz die vom Wolkenlichte gebildeten Ringe, ausser wenn der Spiegel so weit vom Fenster entfernt wurde, dass das Sonnenlicht breit und schwach auf ihn fiel. Wenn ich die Stellung des Auges veränderte und es dem directen Sonnenstrahle näherte oder von ihm entfernte, so änderte sich die Farbe des reflectirten Sonnenlichts auf dem Spiegel beständig ebenso, wie auf meinem Auge, indem ein nebenstehender Beobachter immer dieselbe Farbe auf meinem Auge erblickte, die ich im Spiegel sah. Daraus erkannte ich, dass die Farbenringe auf dem Papier durch diese reflectirten Farben zu Stande kamen, die vom Spiegel aus unter verschiedenen Winkeln bis dorthin gelangten, und dass ihre Entstehung nicht von der Abgrenzung von Licht und Schatten herrührte.

7. Beobachtung. Zufolge der Analogie zwischen allen diesen Erscheinungen und den im 1. Theile dieses Buches beschriebenen ähnlichen Farbenringen schien es mir, dass diese Farben durch die dicke Glasplatte fast auf dieselbe Weise hervorgerufen würden, wie durch ganz dünne Blättchen. Denn ein Versuch ergab, dass nach Entfernung des Quecksilbers von der Rückseite des Spiegels das blosse Glas dieselben Farbenringe zeigte, nur schwächer als zuvor, und dass deshalb die Erscheinung nicht vom Quecksilber abhängt, höchstens insoweit dasselbe durch Verstärkung der Reflexion auf der Rückseite des Glases das Licht der Farbenringe vermehrt. Auch fand ich, dass ein vor einigen Jahren zu optischen Zwecken hergestellter und sehr gut gearbeiteter Metallspiegel ohne Glas keinen dieser Ringe hervorbrachte. Daraus ersah ich, dass diese Ringe nicht von einer einzigen spiegelnden Fläche entstehen, sondern von den beiden Oberflächen der Glasplatte abhängen, aus der der Spiegel gebildet ist, und von der Dicke des Glases zwischen ihnen[13]. Denn ebenso, wie in der 7. und 19. Beobachtung des 1. Theils dieses Buches eine dünne Schicht von Luft, Wasser oder Glas von gleichmässiger Dicke in einer bestimmten Farbe erschien, wenn die

Strahlen zu ihr senkrecht waren, in einer anderen, wenn sie etwas schief, in wieder einer anderen, wenn sie noch schiefer, und in anderer, wenn sie immer schiefer auffielen, und so fort, so liess hier, in der 6. Beobachtung, das aus dem Glase in verschiedenen Neigungen austretende Licht das Glas in verschiedenen Farben erscheinen und erzeugte, in solchen Neigungen bis zu dem Papiere fortgepflanzt, daselbst Ringe von diesen Farben. Und ebenso, wie die Ursache davon, dass ein dünnes Blättchen bei verschiedenen Neigungen der Strahlen in verschiedenen Farben erschien, darin lag, dass die Strahlen einer und derselben Art am dünnen Blättchen bei der einen Neigung reflectirt, bei einer andern durchgelassen werden, und die anderer Arten durchgelassen werden, wo jene reflectirt werden, und umgekehrt, so war der Grund, warum die dicke Glasplatte, aus der der Spiegel gefertigt ist, bei verschiedenen Neigungen in verschiedenen Farben erschien und diese Farben in diesen Neigungen nach dem Papier hin sandte, der, dass die Strahlen einer und derselben Art bei einer bestimmten Neigung aus dem Glase austraten, bei einer anderen, anstatt auszutreten, von der diesseitigen Glasfläche nach dem Quecksilber zurückgeworfen wurden und in dem Maasse, wie die Neigung immer grösser wurde, in vielfachen Folgen abwechselnd austraten und reflectirt wurden, und dass bei einer und derselben Neigung die Strahlen der einen Art reflectirt, die einer andern Art durchgelassen wurden. Dies ist aus der 5. Beobachtung dieses Theils (im II. Buche) klar; denn wenn hier der Spiegel von irgend einer prismatischen Farbe beleuchtet wurde, so erzeugte dieses Licht auf dem Papier mehrere Ringe von der nämlichen Farbe mit dunklen Zwischenräumen und wurde daher bei seinem Austritte aus dem Spiegel nach dem Papiere hin in vielfacher Folge abwechselnd durchgelassen und nicht durchgelassen, entsprechend den verschiedenen Neigungen beim Austritte. Wenn die vom Prisma auf den Spiegel geworfene Farbe geändert wurde, nahmen die Ringe diese neue Farbe an und änderten mit der Farbe auch ihre Grösse; daher wurde jetzt das Licht bei anderen Neigungen, als zuvor, abwechselnd vom Spiegel nach dem Papiere durchgelassen und nicht durchgelassen. Diese Ringe schienen mir daher eines und desselben Ursprungs mit denen dünner Blättchen zu sein, nur mit dem Unterschiede, dass diejenigen dünner Blättchen durch abwechselnde Reflexionen und Durchgänge der Strahlen an der zweiten Fläche des Blättchens nach einmaligem

Digitized by Google

Durchlaufen des Blättchens entstehen, hier aber die Strahlen zweimal die Platte durchlaufen, ehe sie abwechselnd reflectirt und durchgelassen werden. Zuerst gehen sie von der ersten Fläche bis zum Quecksilber hindurch, hierauf kehren sie von da zur ersten Fläche zurück und werden hier entweder durchgelassen, um zum Papiere zu gelangen, oder zurück nach dem Quecksilber reflectirt, je nachdem sie beim Anlangen an dieser Fläche in ihrer Anwandlung leichter Reflexion oder leichten Hindurchgehens sind. Denn bei den Strahlen, welche senkrecht auf den Spiegel fallen und in denselben senkrechten Linien zurückgeworfen werden, sind wegen der Gleichheit dieser Winkel und Linien die Intervalle der Anwandlungen nach Prop. XIX des 3. Theils nach wie vor der Reflexion von derselben Länge und Anzahl. Da mithin alle durch die erste Fläche eintretenden Strahlen bei diesem Eintritte in ihren Anwandlungen leichten Durchganges sind und, so viele ihrer an der zweiten Fläche reflectirt werden, daselbst in ihren Anwandlungen leichter Reflexion sind, so müssen diese alle bei ihrer Rückkehr zur ersten Fläche wieder in der Anwandlung leichten Durchganges sein und in Folge dessen aus dem Glase nach dem Papiere austreten und dort den weissen Lichtfleck im Mittelpunkte der Ringe bilden. Diese Schlüsse gelten in gleicher Weise für alle Strahlenarten, deshalb muss ein Gemisch von allen Arten nach diesem Flecke gehen und ihre Mischung zur Folge haben, dass er weiss erscheint. Nun müssen nach Propp. XV und XX die Intervalle der Anwandlungen der Strahlen, welche schiefer zurückgeworfen werden, als sie eintreten, nach der Reflexion grösser sein, als vor derselben; daher kann es kommen, dass die Strahlen bei ihrer Rückkehr zur ersten Fläche bei gewissen Neigungswinkeln in Anwandlungen leichter Reflexion sind und zum Quecksilber zurückkehren, bei anderen, mittleren Neigungswinkeln aber wieder in der Anwandlung leichten Durchganges, so nach dem Papier gelangen und dort die Farbenringe um den weissen Fleck herum erzeugen. Da ferner bei gleicher Neigung die Intervalle der Anwandlungen grösser und weniger zahlreich sind für die weniger brechbaren, kleiner und zahlreicher für die brechbareren Strahlen, so werden bei gleicher Neigung die weniger brechbaren Strahlen weniger Ringe bilden, als die brechbareren, und die von jenen gebildeten Ringe werden grösser sein, als die gleiche Anzahl der von diesen hervorgerufenen, d. h. die rothen Ringe sind grösser, als die gelben,

die gelben grösser, als die grünen, diese grösser, als die blauen, diese grösser, als die violetten Ringe, wie die 5. Beobachtung in der That ergeben hat. Daher war der erste von allen den weissen Lichtfleck umgebenden Farbenringen aussen roth, auf der Innenseite ein wenig violett und in der Mitte gelb, grün und blau, wie es sich bei der 2. Beobachtung fand; und diese nämlichen Farben waren im zweiten und den folgenden Ringen mehr ausgebreitet, bis sie sich über einander ausdehnten und durch Vermischung einander verwirrten.

Dies sind meiner Ansicht nach im Allgemeinen die Ursachen dieser Ringe; ich nahm hieraus Veranlassung, die Dicke des Glases genauer zu beobachten, und zu prüfen, ob sich die Dimensionen und Verhältnisse der Ringe wirklich durch Rechnung ableiten lassen.

8. Beobachtung. Zu diesem Zwecke mass ich die Dicke der concav-convexen Glasplatte und fand, dass sie überall genau $\frac{1}{4}$ Zoll betrug. Nun lässt nach der 6. Beobachtung des 1. Theils (II. Buch) eine dünne Luftschicht das hellste Licht des ersten Ringes, d. i. das helle Gelb hindurch, wenn ihre Dicke $\frac{1}{89000}$ Zoll beträgt, und nach der 10. Beobachtung desselben Theils lässt ein dünnes Glasblättchen das nämliche Licht desselben Ringes durch, wenn ihre Dicke im Verhältniss des Brechungssinus zum Einfallssinus kleiner ist, d. h., das Verhältniss der Sinus wie 11 : 17 angenommen, wenn ihre Dicke $\frac{11}{1513000}$ oder $\frac{1}{137545}$ Zoll beträgt. Wenn die Dicke verdoppelt wird, so lässt sie dasselbe helle Licht des zweiten Ringes durch, wird sie verdreifacht, das des dritten, und so fort, indem das helle gelbe Licht in allen diesen Fällen sich in seiner Anwandlung des Hindurchgehens befindet. Wenn daher seine Dicke auf das 34386fache vergrössert wird, so dass sie $\frac{1}{4}$ Zoll beträgt, so lässt sie dasselbe helle Licht vom 34386sten Ringe durch. Nehmen wir an, dies sei das helle gelbe Licht, welches von der spiegelnden Convexseite des Glases senkrecht durch die concave Seite bis zu dem weissen Fleck in der Mitte der Farbenringe auf dem Papiere hindurchgelassen war, so wird nach einer Regel in der 7. und 19. Beobachtung des ersten Theils und nach Propp. XV und XX des dritten Theils dieses Buches, wenn man die Strahlen gegen das Glas neigt, die zum Durchlassen des nämlichen hellen Lichts desselben Ringes erforderliche Dicke bei irgend einer Neigung sich zu der Dicke von $\frac{1}{4}$ Zoll verh alten, wie die Secante eines gewissen Winkels zum Radius, nämlich

Digitized by Google

desjenigen Winkels, dessen Sinus das erste von 106 arithmetischen Mitteln ist zwischen den Sinus des Einfalls und der Brechung, gezählt vom Einfallssinus, wenn die Brechung aus irgend einem Blättchen nach dem umgebenden Medium erfolgt, d. i. im vorliegenden Falle aus Glas in Luft. Wenn nun die Dicke des Glases allmählich vergrössert wird, so dass sie zu ihrer ersten Dicke (nämlich $\frac{1}{4}$ Zoll) dasselbe Verhältniss hat, wie die Zahl 34 386 (die Zahl der Anwandlungen der senkrechten Strahlen beim Durchgange durch das Glas gegen den weissen Fleck im Mittelpunkte der Ringe) zu den Zahlen 34 385, 34 384, 34 383 und 34 382 (den Zahlen der Anwandlungen der geneigten Strahlen beim Durchgange durch das Glas nach dem 1., 2., 3. und 4. Farbenringe), und wenn jene erste Dicke in 100 000 000 gleiche Theile getheilt wird, so werden die vergrösserten Dicken 100 002 908, 100 005 816, 100 008 725 und 100 011 633 betragen, und die Winkel, deren Secanten sie darstellen, werden 26′ 13″, 37′ 5″, 45′ 6″ und 52′ 26″ sein, wenn der Radius 100 000 000 ist. Die Sinus dieser Winkel sind 762, 1079, 1321 und 1525 und die proportionalen Sinus der Brechung 1172, 1659, 2031 und 2345, wenn der Radius 100 000 ist. Denn da die Sinus des Einfalls beim Uebergange aus Glas in Luft sich zu den Sinus der Brechung, wie 11 : 17 verhalten, und zu den oben erwähnten Secanten, wie 11 zu dem ersten von 106 arithmetischen Mitteln zwischen 11 und 17, d. h. wie 11 zu $11\frac{6}{106}$, so werden sich diese Secanten zu den Sinus der Brechung, wie $11\frac{6}{106}$ zu 17 verhalten und dem entsprechend diese Sinus ergeben. Wenn also die Neigung der Strahlen gegen die concave Fläche des Glases eine solche ist, dass die Sinus ihrer Brechung beim Uebergange aus Glas durch diese Fläche in Luft 1172, 1659, 2031 und 2345 sind, so wird das helle Licht des 34 386sten Ringes bei derjenigen Dicke des Glases herauskommen, die sich zu $\frac{1}{4}$ Zoll verhält, wie 34 386 beziehentlich zu 34 385, 34 384, 34 383, 34 382. Wenn daher in allen diesen Fällen die Dicke des Glases $\frac{1}{4}$ Zoll beträgt (wie bei dem Glase, aus dem der Spiegel verfertigt war), so wird das helle Licht des 34 385sten Ringes an der Stelle hervortreten, wo der Sinus der Brechung 1172 ist, und das des 34 384sten, 34 383sten und 34 382sten Ringes da, wo die Sinus bez. 1659, 2031 und 2345 sind. Unter solchen Brechungswinkeln wird das Licht dieser Ringe sich weiter fortpflanzen vom Spiegel bis zu dem Papier und dort Ringe bilden

Digitized by Google

um den weissen runden Lichtfleck der Mitte, der, wie gesagt, das Licht des 34 386sten Ringes war. Die Halbmesser dieser Ringe werden den Winkeln der an der concaven Oberfläche des Spiegels erfolgenden Brechung zugehören; folglich verhalten sich ihre Durchmesser zur Entfernung des Papiers vom Spiegel, wie jene verdoppelten Brechungssinus zum Radius, d. i. wie die verdoppelten Zahlen 1172, 1659, 2031 und 2345 zu 100 000. Ist also (wie in der 3. Beobachtung) der Abstand des Papiers von der concaven Spiegelfläche 6 Fuss, so werden die Ringdurchmesser dieses hellen gelben Lichts auf dem Papier 1,688, 2,389, 2,925, 3,375 Zoll betragen; denn diese Durchmesser verhalten sich zu 6 Fuss, wie die erwähnten verdoppelten Sinus zum Radius. Diese so durch Rechnung gefundenen Durchmesser der hellen gelben Ringe sind ganz dieselben, wie die in der 3. Beobachtung durch Messung ermittelten, welche $1\frac{11}{16}$, $2\frac{3}{8}$, $2\frac{11}{12}$ und $3\frac{3}{8}$ Zoll waren; also stimmt die Theorie, nach welcher diese Ringe aus der Dicke der Glasplatte, aus welcher der Spiegel gefertigt ist, und aus der Neigung der austretenden Strahlen abgeleitet werden, mit der Beobachtung überein. Bei dieser Berechnung habe ich die Durchmesser der hellen, durch Licht aller Farben entstehenden Ringe den Durchmessern der Ringe gleichgesetzt, welche vom hellen Gelb gebildet werden; denn dieses Gelb bildet den hellsten Theil der aus allen Farben gebildeten Ringe. Wünscht man die Durchmesser der vom Lichte einer anderen einfachen Farbe gebildeten Ringe zu erhalten, so kann man sie leicht durch den Ansatz finden, dass sie zu den Durchmessern der breiten hellen Ringe in dem Verhältniss der Quadratwurzel aus den Intervallen der Anwandlungen dieser Farbstrahlen stehen, wenn diese Strahlen zu der brechenden oder reflectirenden Fläche gleiche Neigung besitzen, d. h. indem man die Durchmesser der von den Strahlen an den äussersten Grenzen der sieben Farben Roth, Orange, Gelb, Grün, Blau, Indigo, Violett gebildeten Ringe proportional setzt den Cubikwurzeln der Zahlen 1, $\frac{8}{9}$, $\frac{5}{6}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{5}$, $\frac{9}{16}$, $\frac{1}{2}$, welche die Längen eines die Töne der Octave gebenden Monochords ausdrücken; denn dadurch ergeben sich die Durchmesser der Ringe dieser Farben ganz nahe in demselben Verhältniss zu einander, welches sie nach der 5. Beobachtung haben müssen.

So überzeugte ich mich, dass diese Ringe von derselben Art waren und aus derselben Ursache entsprangen, wie die Farbenringe dünner Blättchen, und folglich auch, dass die

Digitized by Google

Anwandlungen oder wechselnden Neigungen der Strahlen, reflectirt oder durchgelassen zu werden, bis auf grosse Entfernungen von jeder reflectirenden und brechenden Fläche fortbestehen. Um aber diesen Punkt noch weiter über jeden Zweifel zu erheben, habe ich noch die folgende Beobachtung hinzugefügt.

9. Beobachtung. Wenn die Ringe in dieser Weise von der Dicke der Glasplatte abhängen, so müssen ihre Durchmesser bei gleichen Entfernungen von verschiedenen Spiegeln, die aus solchen der nämlichen Kugel angehörenden concav-convexen Glasplatten angefertigt sind, der Quadratwurzel aus der Dicke der Platte umgekehrt proportional sein. Und wenn diese Proportionalität durch den Versuch bestätigt wird, so trägt dies zum Beweise dafür bei, dass diese Ringe (ganz wie die in dünnen Blättchen gebildeten) von der Dicke des Glases abhängen. Ich verschaffte mir deshalb eine andere concav-convexe Glasplatte, die auf beiden Seiten nach derselben Kugel geschliffen war, wie die vorher benutzte. Ihre Dicke war $\frac{5}{6}\frac{5}{2}$ Zoll, und die Durchmesser der drei ersten hellen Ringe, gemessen zwischen den hellsten Stellen ihres Umfanges, betrugen bei 6 Fuss Entfernung vom Glase 3, $4\frac{1}{6}$, $5\frac{1}{8}$ Zoll. Nun verhielt sich die Dicke des anderen Glases, die $\frac{1}{4}$ Zoll betrug, zur Dicke dieses Glases, wie $\frac{1}{4} : \frac{5}{6}\frac{5}{2}$, d. i. wie 31 : 10 oder wie 310 000 000 : 100 000 000, und die Quadratwurzeln aus diesen letzteren Zahlen sind 17 607 und 10 000. In dem Verhältnisse dieser zwei Wurzeln stehen die Durchmesser der hellen Ringe, die bei dieser Beobachtung durch das dünnere Glas gebildet werden, nämlich 3, $4\frac{1}{6}$ und $5\frac{1}{8}$, zu den Durchmessern der nämlichen Ringe, die in der 3. Beobachtung durch das dickere Glas entstehen, nämlich zu $1\frac{1}{16}$, $2\frac{3}{8}$ und $2\frac{1}{12}$, d. h. die Durchmesser der Ringe sind umgekehrt proportional der Quadratwurzel aus der Dicke der Glasplatten.

Also sind bei Glasplatten, welche gleich concav auf der einen und gleich convex auf der anderen Seite sind, die auch auf der convexen Seite in gleicher Weise amalgamirt und nur in ihrer Dicke verschieden sind, die Durchmesser der Ringe der Quadratwurzel aus der Dicke der Platten proportional. Dies beweist zur Genüge, dass beide Glasflächen an den Ringen betheiligt sind. Letztere sind von der convexen Fläche abhängig, weil sie glänzender werden, wenn diese amalgamirt, als wenn sie ohne Quecksilber ist. Sie hängen auch von der concaven Fläche ab, weil ohne dieselbe der Spiegel gar keine Ringe

Digitized by Google

hervorruft. Sie hängen von beiden Flächen und von deren gegenseitiger Entfernung ab, weil ihre Grösse durch blosse Veränderung dieser Entfernung eine andere wird. Und diese Abhängigkeit ist von derselben Art, wie die, welche die Farben dünner Blättchen von der Entfernung der Flächen dieser Blättchen haben, weil die Grösse der Ringe und ihr Verhältniss zu einander, sowie die mit der Aenderung der Dicke des Glases verknüpfte Aenderung ihrer Grösse, ferner die Reihenfolge ihrer Farben derartige sind, wie sie aus den Propositionen am Schlusse des 3. Theils dieses Buches sich ergeben müssen, die aus den im ersten Theile beschriebenen Farbenerscheinungen dünner Blättchen hergeleitet sind.

Es giebt noch andere Erscheinungen bei diesen Farbenringen, wie sie aus denselben Propositionen folgen und deshalb sowohl die Richtigkeit derselben, als auch die Analogie zwischen diesen Ringen und den durch dünne Blättchen erzeugten Farbenringen bestätigen. Ich will noch einige von diesen Erscheinungen hier anführen.

10. Beobachtung. Wenn der Sonnenstrahl vom Spiegel her nicht direct nach der Oeffnung im Fensterladen reflectirt wurde, sondern nach einem etwas davon entfernten Punkte, so fiel der gemeinsame Mittelpunkt des Flecks und aller Farbenringe mitten zwischen den einfallenden und den reflectirten Lichtstrahl, mithin in den Mittelpunkt der sphärischen Krümmung des Hohlspiegels, wenn man nur das Papier, auf welches die Farbenringe fielen, an diese Stelle brachte. In dem Maasse nun, wie man durch Neigen des Spiegels den reflectirten Lichtstrahl mehr und mehr vom einfallenden und vom gemeinsamen, dazwischen liegenden Mittelpunkte der Farbenringe entfernte, wurden die Ringe und ebenso der weisse, runde Fleck immer grösser, und aus dem gemeinsamen Mittelpunkte tauchten allmählich neue Farbenringe hervor, aus dem weissen Fleck wurde ein weisser, sie umgebender Ring, und die einfallenden und reflectirten Lichtstrahlen trafen immer auf die entgegengesetzten Seiten dieses weissen Ringes und beleuchteten seinen Umfang, wie zwei Nebensonnen zu beiden Seiten eines Regenbogens. So war also der Durchmesser dieses Ringes, gemessen von der Mitte seines Lichts auf der einen Seite bis zur Mitte desselben auf der anderen Seite, immer gleich der Entfernung zwischen der Mitte des einfallenden und der des reflectirten Lichtstrahls, gemessen auf dem Papiere, wo die Ringe erschienen. Uebrigens wurden

Digitized by Google

die diesen Ring bildenden Strahlen von dem Spiegel unter Winkeln reflectirt, welche gleich den Einfallswinkeln waren und folglich auch gleich ihren Brechungswinkeln, insoweit sie in das Glas eintraten, und doch lagen die Reflexionswinkel nicht mit den Einfallswinkeln in derselben Ebene.

11. Beobachtung. Die Farben der neuen Ringe hatten die umgekehrte Reihenfolge, wie die der früheren, und entstanden auf folgende Weise: Der weisse, runde Lichtfleck in der Mitte der Ringe blieb bis in seinen Mittelpunkt so lange weiss, bis der Abstand zwischen einfallenden und reflectirten Strahlen auf dem Papier etwa $\frac{7}{8}$ Zoll betrug; nachher wurde er in der Mitte dunkel. Als diese Entfernung etwa $1\frac{3}{16}$ Zoll betrug, wurde der weisse Fleck zu einem Ringe, der einen dunklen, runden, in der Mitte zu Indigo und Violett neigenden Fleck umgab; die ihn umgebenden farbigen Ringe waren jetzt so gross, wie jene, von denen sie in den 4 ersten Beobachtungen umgeben waren, d. h. der weisse Fleck war zu einem weissen Ringe angewachsen, der dem ersten jener dunklen Ringe glich, und der erste der hellen Ringe war so gross geworden, wie jener zweite dunkle, der zweite helle glich dem dritten dunklen, und so fort; denn die Durchmesser der hellen Ringe waren jetzt $1\frac{3}{16}$, $2\frac{1}{16}$, $2\frac{2}{3}$, $3\frac{3}{16}$, . . . Zoll.

Wenn die Entfernung zwischen dem Einfalls- und dem reflectirten Lichtstrahle noch etwas grösser gemacht wurde, trat nach dem Indigo in der Mitte des dunklen Flecks Blau hervor, sodann aus diesem Blau heraus ein blasses Grün und bald darauf Gelb und Roth. Und als in der Mitte die Farbe am hellsten war, eine Mittelfarbe zwischen Gelb und Roth, wuchsen die hellen Ringe bis zu der Grösse derer, die in den 4 ersten Beobachtungen sie zunächst umgaben; das will sagen: der weisse Fleck in der Mitte dieser Ringe war jetzt zu einem weissen Ringe von der Grösse des ersten jener hellen Ringe geworden, und der erste der hellen Ringe glich dem zweiten jener, u. s. f. Denn die Durchmesser des weissen und der anderen, ihn umgebenden hellen Ringe waren jetzt ungefähr $1\frac{1}{16}$, $2\frac{3}{8}$, $2\frac{11}{12}$, $3\frac{3}{8}$, . . . Zoll.

Als die Entfernung der beiden Lichtstrahlen auf dem Papier noch etwas grösser gemacht wurde, tauchte der Reihe nach aus der Mitte Roth auf, dann ein Purpur, ein Blau, ein Grün, Gelb und ein stark zu Purpur neigendes Roth, und als die Farbe, zwischen Roth und Gelb gelegen, am hellsten war, gingen die früheren Indigo, Blau, Grün, Gelb und Roth

in einen Ring über, dessen Farben denen des ersten hellen Ringes bei den 4 ersten Beobachtungen glichen, und der weisse Ring, der jetzt der zweite helle Ring geworden war, glich dem zweiten jener Ringe, der erste, der nun der dritte Ring war, glich dem dritten derselben, und so fort. Denn ihre Durchmesser waren $1\frac{1}{16}$, $2\frac{3}{8}$, $2\frac{1}{2}$, $3\frac{3}{8}$ Zoll, während die Entfernung der beiden Lichtbündel und der Durchmesser des weissen Ringes $2\frac{3}{8}$ Zoll betrug.

Als die beiden Lichtbündel sich noch weiter von einander entfernten, erschien aus der Mitte des purpurartigen Roth zuerst ein dunkler, runder Fleck, und dann in der Mitte desselben ein heller. Nun bildeten die früheren Farben, Purpur, Blau, Grün, Gelb und purpurartiges Roth, einen Ring von der Grösse des ersten, in den 4 ersten Beobachtungen erwähnten hellen Ringes, und die Ringe um ihn herum wuchsen bis zur Grösse der diesen der Reihe nach umgebenden Ringe. Der Abstand zwischen den beiden Lichtbündeln und der Durchmesser des weissen Ringes (der nun der dritte geworden war) betrug jetzt etwa 3 Zoll.

Nun begannen die Farben der Ringe in der Mitte sehr schwach zu werden, und wenn der Abstand zwischen den beiden Lichtbündeln bis auf einen halben oder einen ganzen Zoll wuchs, verschwanden sie gänzlich, während der weisse Ring mit einem oder zwei nächstbenachbarten an jeder Seite noch sichtbar blieb. Bei noch grösserem Abstande zwischen den beiden Lichtbündeln verschwanden auch diese; denn das von verschiedenen Stellen der Fensteröffnung kommende Licht fiel unter verschiedenen Einfallswinkeln auf den Spiegel und bildete Ringe von verschiedener Grösse, die sich einander schwächten und verwischten, wie ich erkannte, sobald ich gewisse Theile des Lichts auffing. Nahm ich den zunächst an der Spiegelaxe gelegenen Theil weg, so wurden die Ringe kleiner, fing ich den anderen, von der Axe entferntesten Theil auf, so wurden sie grösser.

12. Beobachtung. Wenn ich die Farben des Prismas der Reihe nach auf den Spiegel fallen liess, so war der in den beiden letzten Beobachtungen weisse Ring jetzt bei jeder Farbe von der nämlichen Grösse, aber die Ringe ausserhalb desselben waren bei Grün grösser, als bei Blau, noch grösser bei gelbem, am grössten bei rothem Lichte. Umgekehrt waren die Ringe innerhalb des weissen Kreises im Grün kleiner, als im Blau, noch kleiner im Gelb und am

Digitized by Google

kleinsten im rothen Lichte. Denn da die Reflexionswinkel der diesen Ring bildenden Strahlen ihren Einfallswinkeln gleich sind, so sind die Anwandlungen jedes reflectirten Strahles innerhalb des Glases nach der Reflexion der Länge und Zahl nach gleich den Anwandlungen des nämlichen Strahles im Innern des Glases vor dem Auftreffen auf die reflectirende Fläche. Weil demnach alle Strahlen von allen Arten bei ihrem Eintritt in das Glas in einer Anwandlung des Durchganges waren, so waren sie auch in einer solchen, als sie nach der Reflexion zu ebenderselben Fläche zurückkehrten; mithin wurden sie durchgelassen und gelangten austretend zu dem weissen Ringe auf dem Papier. Das ist der Grund, weshalb dieser Ring bei allen Farben von derselben Grösse war, und weshalb er bei einer Mischung von allen Farben weiss erschien. Bei Strahlen aber, die unter anderen Winkeln reflectirt werden, bewirken die Intervalle der Anwandlungen der wenigst-brechbaren Strahlen, da sie die grössten sind, dass die Ringe ihrer Farbe beim Fortschreiten vom weissen Ringe aus nach innen oder aussen im stärksten Maasse zu- oder abnehmen, so dass die Ringe von dieser Farbe aussen am grössten, innen am kleinsten sind. Dies ist der Grund, warum in der letzten Beobachtung, als der Spiegel mit weissem Lichte beleuchtet wurde, die von allen Farben gebildeten äusseren Ringe aussen roth, innen blau erschienen, und die inneren aussen blau und innen roth.

Dies sind die Erscheinungen bei dicken, convex-concaven Glasplatten von durchaus gleicher Dicke. Es giebt noch andere Erscheinungen, wenn diese Platten an der einen Seite ein wenig dicker sind, als an der anderen, und noch andere, wenn die Platten mehr oder weniger concav, als convex sind, oder planconvex, oder biconvex. In allen diesen Fällen erzeugen sie Farbenringe, aber in verschiedener Weise, und alle folgen, soweit ich beobachtet habe, aus den Propositionen am Schlusse des 3. Theils dieses Buchs, und tragen zur Bestätigung derselben bei. Doch sind die Erscheinungen zu verschieden und die Rechnungen, nach denen sie aus diesen Propositionen folgen, zu verwickelt, als dass sie hier weiter beschrieben werden könnten. Ich begnüge mich damit, sie hier so weit verfolgt zu haben, dass ihre Ursache aufgeklärt und dadurch die Propositionen im 3. Theile dieses Buchs bestätigt worden sind.

13. Beobachtung. Da das von einer auf der Rückseite amalgamirten Linse reflectirte Licht die oben beschriebenen

Digitized by Google

Farbenringe hervorruft, so muss es ähnliche Farbenringe bilden, wenn es durch einen Wassertropfen hindurchgeht. Bei der ersten Reflexion der Strahlen im Innern des Tropfens müssen, wie im Falle der Linse, einige Farben hindurchgelassen, andere zurück nach dem Auge reflectirt werden. Wenn z. B. der Durchmesser eines kleinen Wassertropfens oder Kügelchens ungefähr $\frac{1}{500}$ Zoll ist, so dass ein Roth erregender Strahl auf seinem Wege mitten durch den Tropfen im Innern desselben 250 Anwandlungen leichten Durchganges hat, und dass alle Roth erregenden Strahlen in einem gewissen Abstande rund um diesen mittelsten Strahl herum 249 Anwandlungen im Innern der Kugel haben, und die in einer bestimmten grösseren Entfernung ringsherum 248, die in einer gewissen noch grösseren Entfernung 247 Anwandlungen haben, u. s. f., so werden diese concentrischen Strahlenkreise, wenn sie nach ihrem Durchgange auf weisses Papier treffen, daselbst concentrische rothe Ringe erzeugen, vorausgesetzt, dass das durch ein einzelnes Wasserkügelchen gehende Licht stark genug ist, um wahrnehmbar zu sein. Ebenso werden Strahlen von anderer Farbe Ringe von anderen Farben entstehen lassen. Nehmen wir nun an, die Sonne scheine an einem hellen Tage durch eine dünne Wolke solcher Wasser- oder Hagelkügelchen, und diese Kügelchen seien alle von gleicher Grösse, so wird die Sonne, wenn man durch diese Wolke hindurch nach ihr blickt, mit denselben concentrischen Farbenringen umgeben erscheinen, und der erste rothe Ring wird einen Durchmesser von $7\frac{1}{4}^{\circ}$, der zweite $10\frac{1}{4}^{\circ}$, der dritte $12^{\circ}\,33'$ haben; und je nachdem die Wasserkugeln grösser oder kleiner sind, werden auch die Ringe grösser oder kleiner sein. Dies ist die Theorie, und die Erfahrung entspricht ihr; denn im Juni 1692 sah ich durch Reflexion in einem Gefässe ruhigen Wassers drei Halonen, Coronen oder Farbenringe um die Sonne, die wie drei kleine Regenbogen zu ihr concentrisch waren. Die Farben der ersten oder innersten Corona waren inwendig, zunächst der Sonne blau, aussen roth, dazwischen weiss; die der zweiten Corona waren inwendig purpurn und blau, aussen blassroth und dazwischen grün. Die Farben der dritten waren innen blassblau, aussen blassroth. Diese Farbenringe umschlossen einander ohne jede Unterbrechung, so dass ihre Farben von der Sonne nach aussen hin in folgender continuirlichen Reihe fortschritten: Blau, Weiss, Roth; Purpur, Blau, Grün, Blassgelb und Roth; Blassblau, Blassroth. Der Durchmesser der

Digitized by Google

zweiten Corona, gemessen von der Mitte zwischen Gelb und Roth auf der einen Seite der Sonne bis zur Mitte der nämlichen Farben auf der andern Seite, war $9\frac{1}{3}^{\circ}$ (ungefähr). Die Durchmesser der ersten und dritten Corona hatte ich nicht Zeit zu messen, aber der des ersten schien ungefähr 5 oder 6°, der des dritten etwa 12° zu betragen. Dieselben Farbenringe erscheinen bisweilen um den Mond, denn zu Anfange des Jahres 1664, am 19. Februar, Nachts, sah ich zwei solche um ihn herum. Der Durchmesser des ersten oder innersten war ungefähr 3°, der des zweiten etwa $5\frac{1}{2}^{\circ}$. Zunächst um den Mond war ein weisser Kreis, um diesen zunächst die innere Corona, welche inwendig, beim Weiss, von einem bläulichen Grün, auswendig gelb und roth war; an diese schlossen sich Blau und Grün an der Innenseite der äusseren Corona und Roth an deren Aussenseite. Zu gleicher Zeit erschien in einem Abstande von ungefähr $22^{\circ}\,35'$ vom Mittelpunkte des Monds ein Hof (Halo). Er war elliptisch; sein grösserer Durchmesser stand senkrecht zum Horizonte, sein unterster Theil am weitesten vom Monde entfernt. Ich habe erzählen hören, der Mond habe bisweilen drei oder mehr concentrische Farbenringe, die einander dicht am Monde umschlössen. Je mehr die Wasser- oder Eiskügelchen einander an Grösse gleich sind, desto mehr Farbenringe werden auftreten und desto lebhafter werden die Farben sein. Der Hof im Abstande von $22\frac{1}{2}^{\circ}$ vom Monde ist von anderer Natur. Daraus, dass er oval und unten weiter vom Monde entfernt ist, als oben, schliesse ich, dass er durch Brechung in einer gewissen Art von Hagel oder Schnee entsteht, welcher in horizontaler Stellung mit einem brechenden Winkel von etwa 58 oder 60° in der Luft schwebt.

Das dritte Buch der Optik.

Beobachtungen über Beugungen der Lichtstrahlen und die dadurch entstehenden Farben.

Grimaldi hat uns gelehrt, dass, wenn ein Strahl Sonnenlichts durch eine sehr kleine Oeffnung in ein dunkles Zimmer eindringt, die Schatten von Körpern, die man diesem Lichte aussetzt, breiter sind, als sie sein sollten, wenn die Lichtstrahlen in geraden Linien an den Körpern vorübergehen, und dass diese Schatten von drei parallelen Fransen, Bändern oder Linien farbigen Lichts begrenzt sind. Wenn man aber die Oeffnung breiter macht, so werden die Fransen breiter und gehen in einander über, so dass sie nicht mehr zu unterscheiden sind. Diese breiten Schatten und Fransen haben Einige der gewöhnlichen Brechung der Luft zugeschrieben, ohne jedoch die Sache gehörig zu prüfen. Die näheren Umstände der Erscheinung sind nämlich, soweit ich sie beobachtet habe, die folgenden:

1. Beobachtung. In eine Bleiplatte machte ich mit einer Nadel ein kleines Loch von $\frac{1}{42}$ Zoll Durchmesser; denn 21 solche Nadeln, neben einander gelegt, nahmen die Breite eines halben Zolles ein. Durch diese Oeffnung liess ich einen Sonnenstrahl in mein verdunkeltes Zimmer eintreten und fand, dass die Schatten von Haaren, Drähten, Nadeln, Strohhalmen und ähnlichen schmalen Körpern, die in den Lichtstrahl gebracht wurden, beträchtlich breiter waren, als sie hätten sein sollen, wenn die Lichtstrahlen in geraden Linien an diesen Körpern vorüber gegangen wären. Besonders wenn man ein menschliches Kopfhaar, dessen Stärke nur den 280sten Theil eines Zolles betrug, ungefähr 12 Fuss von der Oeffnung entfernt in den Lichtstrahl hielt, so warf es einen Schatten, der 4 Zoll weit vom Haare $\frac{1}{60}$ Zoll breit war, also über 4 mal so

Digitized by Google

breit, als das Haar selbst, und in 2 Fuss Abstand vom Haare war er ungefähr $\frac{1}{28}$ Zoll breit, d. i. 10 mal breiter, als das Haar, und 10 Fuss vom Haar entfernt, war er $\frac{1}{8}$ Zoll breit, d. i. 35 mal breiter.

Es kommt auch nicht wesentlich darauf an, ob das Haar von Luft oder irgend einer anderen durchsichtigen Substanz umgeben ist. Denn als ich eine geschliffene Glasplatte benetzte, das Haar in das Wasser auf das Glas legte, eine andere geschliffene Glasplatte darauf legte und sie nun so in den oben beschriebenen Lichtstrahl hielt, dass das Licht senkrecht hindurchging, war der Schatten des Haares in den nämlichen Entfernungen ebenso breit, wie vorher. Auch die Schatten von Kritzeln im Glase waren viel breiter, als sie sein sollten, und Adern in geschliffenen Glasplatten warfen ebenfalls breite Schatten. Mithin entspringt die grosse Breite solcher Schatten aus einer anderen Ursache, als der Brechung in der Luft.

Der Kreis X in Fig. 9 sei ein Durchschnitt des Haares, ADG, BEH, CFI drei in verschiedenen Entfernungen an

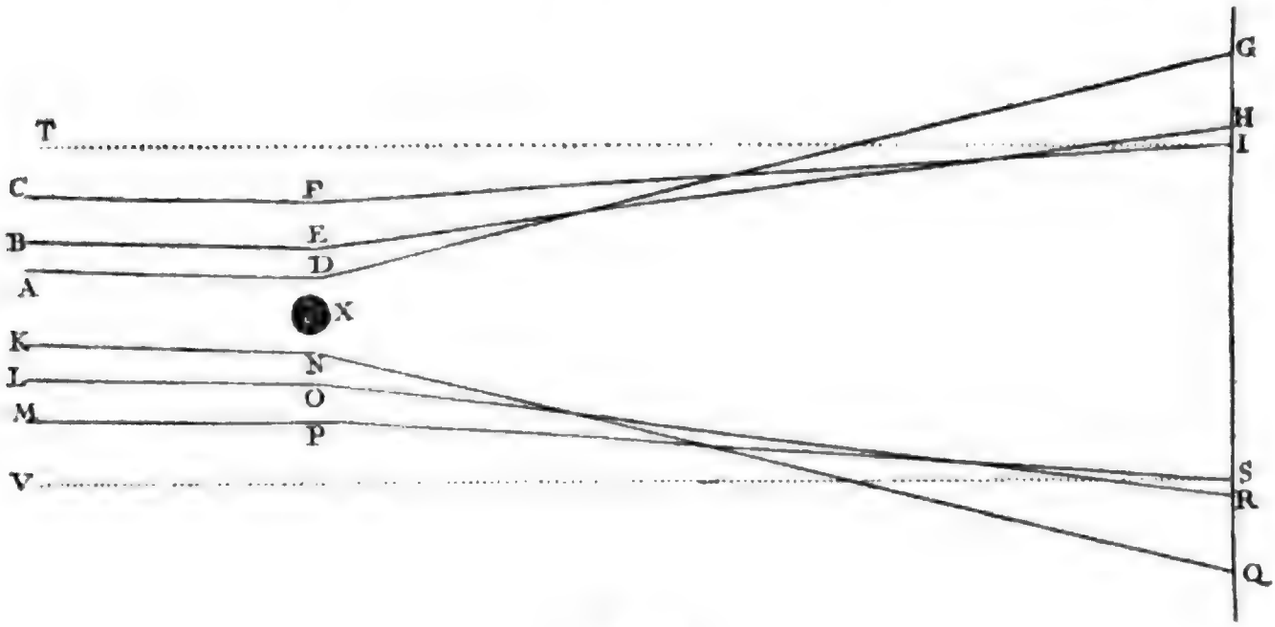

Fig. 9.

der einen Seite des Haares vorübergehende Strahlen, KNQ, LOR, MPS drei Strahlen an der anderen Seite, D, E, F und N, O, P die Punkte, wo die Strahlen bei ihrem Vorübergange am Haar abgebeugt werden, G, H, I und Q, R, S die Stellen, wo die Strahlen auf das Papier GQ fallen, IS die Breite des von dem Haare auf das Papier geworfenen Schattens und TI, VS zwei Strahlen, wie sie nach Entfernung des Haares ungebeugt nach den Punkten I und S gehen.

Digitized by Google

Es ist klar, dass alles Licht zwischen diesen beiden Strahlen TI und VS, wenn es beim Haare vorübergeht, gebeugt und vom Schatten IS weggelenkt wird, denn sonst würde es auf dem Papiere in den Schatten hineinfallen und dort das Papier erhellen, was der Erfahrung widerspricht. Da ferner bei grosser Entfernung des Papiers vom Haare der Schatten breit ist, und daher die Strahlen TI und VS weit von einander entfernt sind, so folgt, dass das Haar auch auf die in ziemlicher Entfernung an ihm vorübergehenden Strahlen wirkt. Aber die Einwirkung ist am stärksten auf Strahlen, die in der geringsten Entfernung vorübergehen, und wird in dem Maasse immer schwächer, wie die Entfernungen wachsen, wie das die Figur zeigt; daher kommt es, dass der Schatten des Haares im Verhältniss zum Abstande zwischen Haar und Papier viel breiter ist, wenn das Papier dem Haare näher ist, als wenn es weiter von ihm entfernt ist.

2. Beobachtung. Die Schatten von allen Körpern (von Metallen, Steinen, Glas, Holz, Horn, Eis etc.), die man in diesen Lichtstrahl brachte, waren von drei parallelen Fransen oder Bändern farbigen Lichts umsäumt, von denen die unmittelbar an den Schatten anstossenden am breitesten und hellsten, die entferntesten am schmalsten und so schwach waren, dass sie nicht leicht wahrgenommen werden konnten. Es war schwer, die Farben zu unterscheiden, wenn nicht das Licht sehr schief auf ein glattes Papier oder irgend einen anderen glatten weissen Gegenstand fiel, so dass sie viel breiter, als sonst, erschienen. Dann waren die Farben ganz deutlich in folgender Ordnung sichtbar: der erste oder innerste Farbensaum war zunächst beim Schatten violett und dunkelblau, sodann in der Mitte hellblau, grün und gelb, aussen aber roth. Der zweite Saum grenzte fast unmittelbar an den ersten und der dritte an den zweiten, und beide waren innen blau und aussen gelb und roth, aber ihre Farben, besonders die des dritten, waren sehr schwach. Die Reihenfolge der Farben war also vom Schatten aus folgende: Violett, Indigo, Blassblau, Grün, Gelb, Roth; Blau, Gelb, Roth; Blassblau, Blassgelb und Roth. Die von Ritzen und Blasen in geschliffenen Glasplatten geworfenen Schatten waren von ähnlichen farbigen Säumen begrenzt, und wenn man Spiegelglasplatten, die am Rande schiefe Facetten haben, in den Lichtstrahl hält, so wird das durch die parallelen Glasflächen gehende Licht da, wo diese Ebenen an die schiefen Schnitte grenzen, von

Digitized by Google

ähnlichen Farbensäumen begrenzt sein, und auf diese Weise treten oft vier bis fünf solche Farbenbänder auf. Seien AB und CD in Fig. 10 die parallelen Flächen eines Spiegelglases

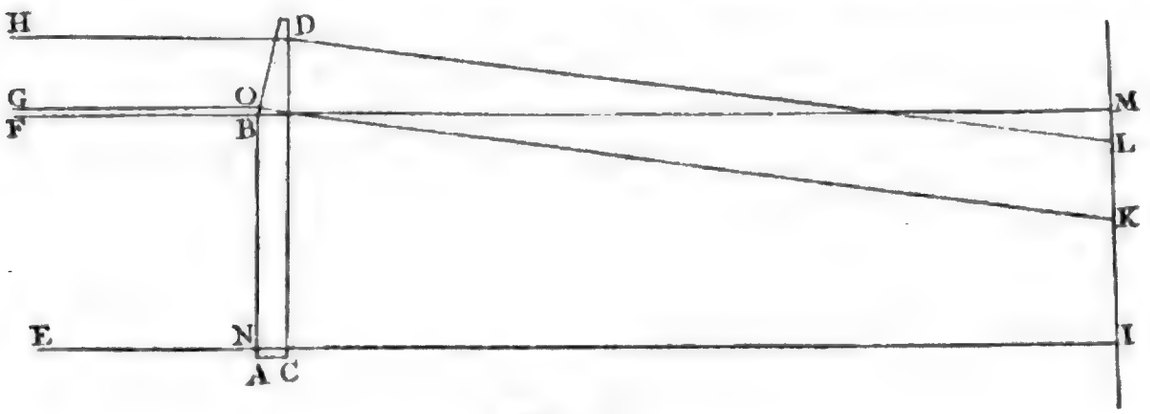

Fig. 10.

und BD die schiefe Randfläche, die bei B einen sehr stumpfen Winkel mit der Ebene AB bildet. Alles Licht zwischen den Strahlen ENI und FBM möge direct durch die parallelen Ebenen des Glases gehen und zwischen I und M auf das Papier fallen, und alles Licht zwischen den Strahlen GO und HD werde durch die schiefe Ebene BD gebrochen und falle zwischen K und L auf das Papier, so wird das durch die parallelen Flächen gehende, zwischen I und M auf das Papier fallende Licht bei M von drei oder mehreren Fransen umsäumt sein.

Ebenso sieht man, wenn man durch eine dicht vor das Auge gehaltene Feder oder ein schwarzes Seidenband gegen die Sonne blickt, mehrere regenbogenfarbige Streifen, weil die Schatten, welche die Fasern oder Fäden auf die Netzhaut werfen, von ähnlichen Farbensäumen begrenzt sind.

3. Beobachtung. Als das Haar von der Oeffnung 12 Fuss entfernt war und sein Schatten schief auf eine im Abstande von $\frac{1}{2}$ Fuss dahinter aufgestellte ebene weisse Skala fiel, die in Zolle und Bruchtheile von Zollen getheilt war, und ebenso, als der Schatten senkrecht auf die nämliche, 9 Fuss dahinter aufgestellte Skala fiel, mass ich die Breite des Schattens und der Fransen, so gut ich konnte, und fand sie in Bruchtheilen eines Zolles folgendermaassen:

Digitized by Google

in der Entfernung von	$\frac{1}{2}$ Fuss	9 Fuss
Breite des Schattens	$\frac{1}{54}$	$\frac{1}{9}$
Breite zwischen den Mitten des hellsten Lichts der innersten Fransen zu beiden Seiten des Schattens	$\frac{1}{38}$ oder $\frac{1}{39}$	$\frac{7}{50}$
Breite zwischen den Mitten des hellsten Lichts der mittelsten Fransen zu beiden Seiten des Schattens	$\frac{1}{23\frac{1}{2}}$	$\frac{4}{17}$
Breite zwischen den Mitten des hellsten Lichts der äusseren Fransen zu beiden Seiten des Schattens	$\frac{1}{18}$ oder $\frac{1}{18\frac{1}{2}}$	$\frac{3}{10}$
Abstand zwischen den Mitten des hellsten Lichts der ersten und zweiten Franse	$\frac{1}{120}$	$\frac{1}{21}$
Abstand zwischen den Mitten des hellsten Lichts der zweiten und dritten Franse	$\frac{1}{170}$	$\frac{1}{31}$
Breite des hellen Theiles (Grün, Weiss, Gelb und Roth) der ersten Franse .	$\frac{1}{170}$	$\frac{1}{32}$
Breite des dunkleren Raumes zwischen der ersten und zweiten Franse. . .	$\frac{1}{240}$	$\frac{1}{45}$
Breite des hellen Theils der zweiten Franse	$\frac{1}{290}$	$\frac{1}{55}$
Breite des dunkleren Raumes zwischen der zweiten und dritten Franse . .	$\frac{1}{340}$	$\frac{1}{63}$

Bei diesen Messungen liess ich den Schatten des Haares in $\frac{1}{2}$ Fuss Entfernung so schief auf die Skala fallen, dass er 12 mal breiter erschien, als bei senkrechtem Auftreffen in der nämlichen Entfernung, und schrieb in die Tabelle den 12. Theil von den genommenen Maassen.

4. Beobachtung. Wenn der Schatten und die Fransen schief auf einen glatten weissen Körper fielen und dieser allmählich immer weiter vom Haare entfernt wurde, so begann in einem Abstande von weniger als $\frac{1}{4}$ Zoll vom Haare die erste Franse zu erscheinen und heller als das übrige Licht sichtbar zu sein, und in einem Abstande von weniger als $\frac{1}{3}$ Zoll erschien die dunkle Linie oder der Schattenraum zwischen der ersten und zweiten Franse. Diese zweite erschien bei einem Abstande von weniger als $\frac{1}{2}$ Zoll vom Haare und der Schatten zwischen ihr und der dritten Franse im Abstande

Digitized by Google

von weniger als 1 Zoll, und die dritte Franse bei weniger als 3 Zoll Abstand. In grösseren Entfernungen wurden sie viel deutlicher, aber ihre Breiten und ihre Zwischenräume behielten fast genau dasselbe Verhältniss zu einander, wie bei ihrem ersten Erscheinen. Der Abstand zwischen den Mitten der beiden ersten Fransen verhielt sich zu dem zwischen den Mitten der zweiten und dritten Franse, wie 3 : 2 oder wie 10 : 7. Der letztere dieser beiden Abstände war gleich der Breite des hellen Lichts oder leuchtenden Theils der ersten Franse; und diese Breite verhielt sich zu der des hellen Lichts in der zweiten Franse, wie 7 : 4, und zu dem dunklen Zwischenraume zwischen den beiden ersten Fransen, wie 3 : 2, und zu dem ähnlichen dunklen Raume zwischen der zweiten und dritten, wie 2 : 1. Denn die Breiten der Fransen schienen in der Progression der Zahlen 1, $\sqrt{\frac{1}{3}}$, $\sqrt{\frac{1}{5}}$ und die Zwischenräume in der nämlichen Progression mit ihnen zu stehen, d. h. die Fransen und ihre Zwischenräume bildeten zusammen ungefähr die Reihe 1, $\sqrt{\frac{1}{2}}$, $\sqrt{\frac{1}{3}}$, $\sqrt{\frac{1}{4}}$, $\sqrt{\frac{1}{5}}$. Diese Verhältnisse bleiben bei allen Entfernungen vom Haare nahezu dieselben, da die Breite der dunklen Zwischenräume zwischen den Fransen zu der Breite der Fransen beim ersten Erscheinen in demselben Verhältnisse stehen, wie nachher bei grossen Entfernungen vom Haare, wenn sie auch nicht so dunkel und deutlich sind.

5. Beobachtung. Als die Sonne durch eine Oeffnung von $\frac{1}{4}$ Zoll Breite in mein verdunkeltes Zimmer schien, stellte ich 2 oder 3 Fuss von der Oeffnung entfernt einen auf beiden Seiten ganz schwarz überzogenen Bogen Pappe auf, der in der Mitte eine Oeffnung von ungefähr $\frac{3}{4}$ Zoll im Quadrat hatte, um das Licht hier hindurchzulassen. Hinter der Oeffnung befestigte ich an der Pappe eine scharfe Messerklinge, welche einen Theil des durch die Oeffnung gehenden Lichts auffing. Die Ebenen der Pappe und der Messerklinge waren parallel zu einander und senkrecht zu den Strahlen. Nachdem ich diese so aufgestellt hatte, dass kein Sonnenlicht auf die Pappe fiel, sondern alles durch die Oeffnung ging und das Messer traf, und dass hier ein Theil desselben auf die Klinge fiel, ein Theil an der Schneide vorbeiging, liess ich diesen letzteren Theil des Lichts 2 oder 3 Fuss hinter dem Messer auf weisses Papier fallen und sah zwei schwache Lichtstreifen aus dem eigentlichen Lichtstrahle heraus sich beiderseits wie Kometen-

Digitized by Google

schweife in den Schatten hinein erstrecken. Weil aber das directe Sonnenlicht durch seinen Glanz auf dem Papier diese schwachen Streifen verdunkelte, machte ich in das Papier ein kleines Loch und liess jenes Licht hier hindurchgehen und dahinter auf ein schwarzes Tuch fallen; und nun sah ich die Streifen vollkommen deutlich. Sie waren einander an Länge und Breite, wie an Lichtstärke ziemlich gleich. Ihr Licht war an dem zunächst dem direkten Sonnenlicht gelegenen Ende auf $\frac{1}{4}$ oder $\frac{1}{2}$ Zoll weit ziemlich stark und wurde von da aus allmählich immer schwächer, bis es ganz unkenntlich war. Die ganze Länge jedes dieser Streifen betrug auf dem Papiere, 3 Fuss vom Messer entfernt, ungefähr 6 oder 8 Zoll und bildete also von der Messerschneide aus einen Winkel von ungefähr 10 oder 12 oder höchstens 14°. Bisweilen aber kam es mir vor, als erstrecke sie sich noch 3 oder 4° weiter, doch mit so schwachem Lichte, dass ich es kaum wahrnehmen konnte, und vermuthete, es könne, wenigstens theilweise, aus einer anderen Ursache, als von den beiden Streifen herrühren. Denn wenn ich das Auge jenseits des Endes eines solchen, hinter dem Messer entstehenden Streifens brachte und nach dem Messer blickte, so konnte ich an seiner Schneide eine Lichtlinie erkennen, und zwar nicht bloss, wenn mein Auge in der Linie der Streifen, sondern auch, wenn es sich ausserhalb dieser Linie befand, entweder gegen die Spitze hin oder nach dem Hefte hin. Diese Lichtlinie lag dicht an der Messerschneide und war schmäler als das Licht der innersten Franse, am schmalsten, wenn mein Auge am weitesten vom direkten Lichte entfernt war; das Licht schien also zwischen dem Lichte dieser Franse und der Messerschneide hindurchzugehen, und das Licht nächst der Schneide, wenn auch nicht alles von diesem Lichte, schien die stärkste Beugung zu erfahren.

6. Beobachtung. Ich stellte ein zweites Messer so neben das erste, dass ihre Schneiden parallel waren und einander gegenüberstanden, und dass das Lichtbündel auf beide Messer fiel und ein Theil desselben zwischen den Schneiden hindurchging. Als die Entfernung zwischen diesen etwa $\frac{1}{400}$ Zoll betrug, theilte sich der Strahl in der Mitte und liess einen Schatten zwischen den beiden Theilen. Dieser Schatten war so schwarz und dunkel, dass alles zwischen den Messern durchgegangene Licht nach der einen oder nach der anderen Seite weggebogen schien. Wenn man alsdann die Messer noch

Digitized by Google

mehr einander näherte, wurde der Schatten breiter und die Lichtstreifen an ihren inneren Seiten nach dem Schatten hin kürzer, bis zuletzt, wo die Messer einander berührten, alles Licht verschwand und der Schatten dessen Platz einnahm.

Daraus schliesse ich, dass das am wenigsten gebogene Licht, welches nach den inneren Rändern der Lichtstreifen geht, am meisten von den Schneiden entfernt vorbeigeht; diese Entfernung beträgt, wenn der Schatten zwischen den Streifen zu erscheinen beginnt, ungefähr $\frac{1}{800}$ Zoll. Das Licht, welches in geringeren Entfernungen an den Schneiden vorbeigeht, wird stärker gebogen und nach den Theilen der Streifen abgelenkt, welche weiter vom directen Lichte entfernt sind, weil bei Annäherung der Schneiden an einander die vom gerade auffallenden Lichte entferntesten Streifen zuletzt verschwanden.

7. Beobachtung. In der 5. Beobachtung erschienen keine farbigen Säume, sondern wegen der Grösse der Oeffnung im Fensterladen wurden sie so breit, dass sie in einander übergingen und durch diese Vereinigung ein einziges zusammenhängendes Licht im Beginn der Streifenbildung darstellten. Aber in der 6. Beobachtung erschienen die Fransen bei Annäherung der Messer, kurz ehe der Schatten zwischen den beiden Lichtstreifen auftrat, an den inneren Rändern derselben zu beiden Seiten des gerade auffallenden Lichts; drei an der einen Seite entstanden durch die Schneide des einen Messers und drei an der anderen Seite durch die Schneide des anderen Messers. Sie waren am deutlichsten bei der grössten Entfernung der Messer von der Oeffnung im Fenster, und wurden deutlicher, wenn die Oeffnung kleiner gemacht wurde, so dass ich bisweilen sogar eine schwache Andeutung eines vierten Farbensaumes, ausser den drei erwähnten, erkennen konnte. Je näher die Messer einander kamen, desto deutlicher und breiter wurden die Säume, bis sie schliesslich verschwanden. Der äusserste verschwand zuerst, dann der mittlere und zuletzt der innerste. Nachdem sie alle verschwunden waren und die Lichtlinie zwischen ihnen breiter geworden war und sich nach beiden Seiten hin bis in die in der 5. Beobachtung beschriebenen Lichtstreifen erstreckte, fing der ersterwähnte Schatten an, sich in der Mitte dieser Linie zu zeigen, und theilte sich der Länge nach in zwei Linien und wuchs, bis alles Licht verschwunden war. Die Säume

Digitized by Google

wurden so breit, dass die nach dem innersten Saume zu gehenden Strahlen über 20 mal mehr gebogen erschienen, wenn der Saum im Begriff war zu verschwinden, als wenn eines der Messer weggenommen wurde.

Aus dieser Beobachtung, im Vergleich mit der vorhergehenden, schliesse ich, dass das Licht des ersten Farbensaumes an der Messerschneide in einem Abstande vorüberging, der grösser, als $\frac{1}{800}$ Zoll war, das Licht des zweiten Saumes in grösserem Abstande, als das des ersten, und das des dritten Saumes wieder in grösserem Abstande, als das des zweiten, und dass die in der 5. und 6. Beobachtung beschriebenen Lichtstreifen näher an den Schneiden vorübergingen, als das Licht irgend eines Farbensaumes.

8. Beobachtung. Ich liess die Schneiden zweier Messer genau geradlinig schleifen, steckte sie mit den Spitzen so in ein Brett, dass ihre Schneiden einander gegenüber standen, nahe bei den Spitzen zusammenstiessen und einen Winkel mit geraden Seiten bildeten; alsdann befestigte ich ihre Hefte mit Pech an einander, damit dieser Winkel unveränderlich bleibe. In einem Abstande von 4 Zoll vom Scheitel des Winkels, wo die Schneiden zusammenstiessen, betrug deren Entfernung von einander $\frac{1}{8}$ Zoll, daher war der Winkel zwischen den Schneiden $1^{\circ}\,54'$. Die so an einander befestigten Messer brachte ich in einen Sonnenstrahl, der durch eine Oeffnung von $\frac{1}{42}$ Zoll in mein verdunkeltes Zimmer drang, und zwar 10—15 Fuss weit von der Oeffnung, und liess das zwischen den Messerschneiden hindurchgehende Licht in $\frac{1}{2}$ Zoll oder 1 Zoll Entfernung von den Messern sehr schief auf ein glattes, weisses Lineal fallen. Alsdann sah ich, wie die von den beiden Messerschneiden herrührenden Farbensäume längs den Rändern der Schatten der Messer parallel mit ihnen hinliefen, ohne merklich breiter zu werden, bis sie in Winkeln, so gross wie der Winkel der Schneiden, zusammenstiessen und da, wo sie sich vereinigten, endigten, ohne sich zu durchkreuzen. Wurde aber das Lineal in einer viel grösseren Entfernung von den Messern gehalten, so wurden die Säume da, wo sie weiter von ihrem Vereinigungspunkte waren, ein wenig schmäler, wurden aber allmählich breiter und breiter, je nachdem sie einander näher und näher kamen, und wo sie zusammentrafen, kreuzten sie sich und wurden viel breiter als zuvor.

Daraus schliesse ich, dass die Entfernungen, in denen das nach den Säumen gehende Licht an den Messern vorbei-

Digitized by Google

ging, durch Annäherung der Schneiden an einander nicht vergrössert oder sonst geändert werden, sondern dass die Beugungswinkel der Strahlen durch diese Annäherung bedeutend zunehmen, und dass das einem Strahle zunächst liegende Messer bestimmt, wohin der Strahl gebeugt werden soll, und das andere Messer die Beugung vermehrt.

9. Beobachtung. Als die Strahlen $\frac{1}{3}$ Zoll von den Messern entfernt sehr schief auf das Lineal fielen, schnitten sich die Linien zwischen dem ersten und zweiten Saume des einen und des anderen Messerschattens in der Entfernung von $\frac{1}{5}$ Zoll vom Ende des Lichts, welches zwischen den Messern an der Stelle hindurchging, wo ihre Schneiden zusammentrafen. Mithin war der Abstand der Messerschneiden da, wo diese dunklen Linien zusammentrafen, $\frac{1}{160}$ Zoll. Wie sich nämlich 4 Zoll zu $\frac{1}{8}$ Zoll verhalten, so verhält sich irgend eine Länge der Messerschneiden, von ihrem Vereinigungspunkte aus gemessen, zum Abstande der Schneiden am Ende dieser Länge, und so verhält sich hier $\frac{1}{5}$ Zoll zu $\frac{1}{160}$ Zoll. Die eine Hälfte des Lichts geht also an der einen Messerschneide in keiner grösseren Entfernung, als $\frac{1}{320}$ Zoll vorbei und bildet auf dem Papiere die Säume des Schattens von diesem Messer, und die andere Hälfte geht an der anderen Schneide in keiner grösseren Entfernung, als $\frac{1}{320}$ Zoll vorüber und bildet die Schattensäume des anderen Messers. Hält man aber das Papier weiter, als $\frac{1}{3}$ Zoll von den Messern, so treffen die erwähnten schwarzen Linien in einer grösseren Entfernung, als $\frac{1}{5}$ Zoll vom Ende des beim Vereinigungspunkte der Schneiden durchgehenden Lichts zusammen; daher geht das Licht, welches am Vereinigungspunkte der dunklen Linien auf das Papier fällt, zwischen den Messern an einer Stelle hindurch, wo der Abstand der Schneiden über $\frac{1}{160}$ Zoll beträgt.

Ein andermal nämlich, wo die Messer 8 Fuss 5 Zoll von der kleinen, mit einer feinen Nadel gemachten Oeffnung im Fenster entfernt waren, ging das beim Vereinigungspunkte der genannten dunklen Linien auf das Papier fallende Licht zwischen den Messern an einer Stelle hindurch, wo die Entfernung der Schneiden die in der folgenden Tabelle angegebene war, in der auch der Abstand zwischen Papier und Messern daneben steht:

Digitized by Google

Abstand des Papiers von den Messern in Zollen	Abstand zwischen den Messerschneiden in Tausendstelzollen
$1\frac{1}{2}$	0,012
$3\frac{1}{3}$	0,020
$8\frac{3}{5}$	0,034
32	0,057
96	0,081
131	0,087

Daraus schliesse ich, dass das die Säume auf dem Papier bildende Licht nicht in allen Entfernungen des Papiers von den Messern das nämliche ist, sondern dass die Säume bei geringerer Entfernung zwischen Papier und Messer durch Strahlen gebildet werden, die in kleinerem Abstande an den Schneiden vorübergehen, und dass dieses Licht auch mehr gebeugt ist, als wenn das Papier in grösserer Entfernung von den Messern ist.

10. Beobachtung. Wenn die Schattensäume der Messer in grosser Entfernung von ihnen senkrecht auf das Papier fielen, hatten sie die Gestalt von Hyperbeln, deren Dimensionen die folgenden waren. In Fig. 11 seien CA und CB zwei auf dem Papiere parallel zu den Messern gezogene Linien, zwischen die alles Licht fallen würde, wenn es ohne Beugung [inflexion] zwischen den Schneiden hindurchginge; DE sei eine Gerade, welche so durch C gezogen ist, dass die Winkel ACD und BCE einander gleich werden, und welche alles Licht abgrenzt, welches vom Vereinigungspunkte der Messerschneiden her auf das Papier fällt; eis, fkt und glv seien drei hyperbolische Linien, welche den Schatten des einen Messers begrenzen, die dunkle Linie zwischen dem ersten und zweiten Schattensaume und die dunkle Linie zwischen dem zweiten und dritten Saume des nämlichen Schattens; xip, ykq und zlr drei andere Hyperbeln, die den Schatten des anderen Messers begrenzen, die dunkle Linie zwischen den beiden ersten Säumen und die zwischen dem zweiten und dritten Saume desselben Schattens. Man darf annehmen, dass diese drei Hyperbeln den ersten dreien gleich und ähnlich sind und sie in den Punkten i, k und l kreuzen, und dass die Schatten der Messer durch die Linien eis und xip begrenzt und von den ersten hellen Säumen geschieden sind,

Digitized by Google

bis diese letzteren zusammentreffen und sich kreuzen; alsdann kreuzen diese Linien die Säume in Gestalt von dunklen Linien, begrenzen auf der Innenseite die ersten hellen Säume und

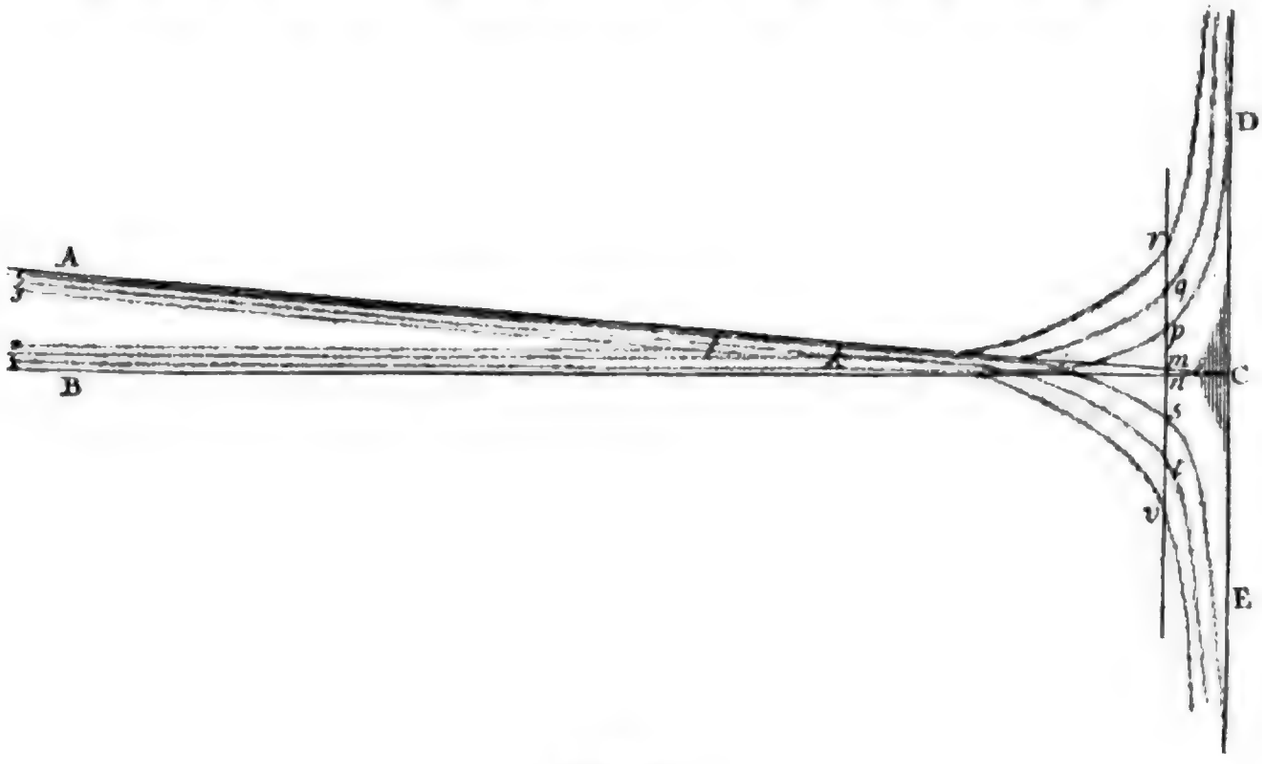

Fig. 11.

unterscheiden sie von einem anderen Licht, welches bei i zu erscheinen beginnt und den ganzen dreieckigen Raum $ipDEsi$ beleuchtet, den die dunklen Linien mit der geraden Linie DE einschliessen. Zu diesen Hyperbeln ist DE eine Asymptote, die anderen Asymptoten sind parallel den Linien CA und CB. Sei rv eine irgendwo auf dem Papiere zur Asymptote DE gezogene Parallele; sie möge die geraden Linien AC in m und BC in n schneiden und die sechs dunklen hyperbolischen Linien in p, q, r, s, t, v. Misst man die Abstände ps, qt, rv und berechnet daraus die Längen der Ordinaten np, nq, nr oder ms, mt, mv, und macht man dies für verschiedene Abstände der Linien rv von der Asymptote DE, so kann man so viele Punkte dieser Hyperbeln finden, wie man will, und wird daraus erkennen, dass diese krummen Linien Hyperbeln sind, die sich wenig von der conischen Hyperbel unterscheiden. Durch Messung der Linien Ci Ck, Cl kann man noch andere Punkte dieser Curven finden.

Als z. B. die Messer von der Oeffnung im Fenster 10 Fuss entfernt waren und das Papier von den Messern 9 Fuss, und der von den Messerschneiden gebildete Winkel, dem der Winkel

Digitized by Google

ACB gleich ist, eine Sehne enthielt, die sich zum Radius, wie 1 zu 32, verhielt, und der Abstand der Linie rv von der Asymptote DE $\frac{1}{2}$ Zoll betrug, mass ich die Linien ps, qt, rv und fand sie der Reihe nach 0,35, 0,65, 0,98 Zoll; addirte ich zu ihren Hälften die Linie $\frac{1}{2}$ mn (welche hier $\frac{1}{128}$ oder 0,0078 Zoll war), so betrugen die Summen np, nq, nr bez. 0,1828, 0,3328, 0,4978 Zoll. Ich mass auch die Abstände der hellsten Theile der Säume, die zwischen pq und st, qr und tv und unmittelbar jenseits r und v verliefen, und fand sie 0,5, 0,8 und 1,17 Zoll.

11. Beobachtung. Während die Sonne durch ein kleines rundes Loch, welches ich, wie oben, mit einer feinen Nadel in eine Bleiplatte gemacht hatte, in mein verdunkeltes Zimmer schien, stellte ich ein Prisma vor die Oeffnung, welches das Licht brach und an der gegenüberliegenden Wand das im 3. Versuche des I. Buchs beschriebene Farbenspectrum bildete. Dann fand ich, dass die Schatten aller Körper, die ich zwischen Prisma und Wand in das farbige Licht brachte, von Säumen in der Farbe desjenigen Lichts begrenzt waren, in welches sie hineingehalten wurden. Im reinen Roth waren sie gänzlich roth, ohne Spur von Blau oder Violett, im tiefen Blau waren sie vollständig blau, ohne merkliches Roth und Gelb; ebenso waren sie in grünem Lichte ganz grün, nur mit ein wenig Gelb und Blau, welche dem grünen Prismenlichte beigemischt waren. Bei Vergleichung der in verschiedenem farbigen Lichte entstehenden Säume fand ich, dass die im Roth die grössten, die im Violett die kleinsten und die im Grün von mittlerer Grösse waren. Denn wenn ich die den Schatten eines menschlichen Haares umsäumenden Fransen 6 Zoll vom Haare quer durch den Schatten mass, fand ich die Entfernung zwischen dem mittelsten und hellsten Theile des ersten oder innersten Saumes auf einer Seite des Schattens und dem desselben Saumes auf der anderen Seite im lebhaften rothen Lichte $\frac{1}{37\frac{1}{2}}$ Zoll, im tiefen Violett $\frac{1}{46}$ Zoll. Dieselbe Entfernung betrug zwischen dem mittelsten und hellsten Theile der zweiten Säume zu beiden Seiten des Schattens im lebhaften Roth $\frac{1}{22}$, im Violett $\frac{1}{27}$ Zoll. Auch in allen Entfernungen vom Haare behielten diese Abstände der Säume dasselbe Verhältniss zu einander, ohne merkliche Abweichungen.

Es gingen also die Strahlen, welche die Säume im rothen Lichte hervorbrachten, in grösserem Abstande am Haare

Digitized by Google

vorbei, als diejenigen, von denen dieselben Säume im Violett herrührten; daher wirkte das diese Säume hervorrufende Haar auf das rothe, d. h. am wenigsten brechbare Licht in grösserer Entfernung ebenso ein, wie auf das violette, d. h. brechbarste Licht in kleinerer Entfernung, und breitete durch diese Einwirkung das rothe Licht in breitere, das violette in schmälere Säume aus, das Licht der zwischenliegenden Farben in solche von mittlerer Breite, ohne die Farbe irgend einer Art zu ändern.

Als daher in der ersten und zweiten dieser Beobachtungen das Haar in den Sonnenstrahl gehalten wurde und einen Schatten warf, der von drei farbigen Fransen eingesäumt war, entstanden diese Farben nicht aus gewissen neuen, den Lichtstrahlen durch die Einwirkung des Haars aufgeprägten Modificationen, sondern lediglich durch die verschiedene Beugung, durch welche die verschiedenen Strahlenarten, die vorher in Folge der Mischung aller ihrer Farben den weissen Sonnenstrahl zusammensetzten, von einander getrennt wurden, und die nun, nach der Trennung, das Licht der verschiedenen Farben zeigen, welches ihnen eigenthümlich ist. In der 11. Beobachtung [dieses Buchs], wo die Farben noch vor dem Vorübergange des Lichts am Haare von einander geschieden waren, wurden die am wenigsten brechbaren Strahlen, welche, von den anderen getrennt, Roth geben, in grösserem Abstande vom Haare gebeugt, so dass sie in grösserer Entfernung von der Mitte des Schattens des Haares drei rothe Säume bildeten, und die brechbarsten Strahlen, die für sich Violett geben, in kleinerem Abstande vom Haare, so dass sie in geringerer Entfernung von der Mitte des Schattens drei violette Säume gaben; andere Strahlen von mittlerer Brechbarkeit wurden in mittleren Abständen vom Haare gebeugt und bildeten Säume von mittleren Farben in mittleren Entfernungen von der Mitte des Schattens. In der 2. Beobachtung, wo in dem weissen, am Haare vorbeigehenden Lichte alle Farben gemischt sind, werden diese Farben durch die verschiedene Beugung der Strahlen getrennt, und es erscheinen zugleich alle die Farbensäume, die eine jede bildet; die innersten, unter einander zusammenhängenden Fransen bilden nur einen einzigen breiten Saum, der aus allen Farben in der gehörigen Ordnung besteht: Violett auf der Innenseite, zunächst dem Schatten, Roth auf der Aussenseite, am weitesten davon, Blau, Grün* und Gelb in der Mitte. Ebenso bilden die mittleren von allen

Digitized by Google

Farben der Reihe nach erzeugten Fransen, an einander stossend, einen breiten, aus allen diesen Farben zusammengesetzten Saum, und die äusseren von allen Farben gebildeten Fransen bilden an einander stossend einen dritten aus allen Farben zusammengesetzten Saum. Das sind die drei Farbensäume, von denen in der 2. Beobachtung die Schatten aller Gegenstände begrenzt sind.

Als ich diese Beobachtungen anstellte, war es meine Absicht, die meisten von ihnen mit noch grösserer Sorgfalt und Genauigkeit zu wiederholen und noch einige neue anzustellen, um die Art und Weise zu bestimmen, wie die Lichtstrahlen beim Vorübergange an den Körpern gebeugt werden, wenn sie die Farbensäume mit den dunklen Linien dazwischen bilden. Aber damals wurde ich unterbrochen und jetzt kann ich nicht daran denken, diese Untersuchungen wieder vorzunehmen. Weil ich nun diesen Theil meiner Arbeit unvollendet [14]) gelassen habe, so will ich damit schliessen, nur einige Fragen vorzulegen, damit Andere den Gegenstand weiter untersuchen mögen.

Frage 1. Wirken nicht die Körper schon aus einiger Entfernung auf das Licht und beugen dadurch seine Strahlen? Und ist nicht, unter sonst gleichen Umständen, diese Einwirkung bei der kleinsten Entfernung am stärksten?

Frage 2. Sind nicht die Strahlen von verschiedener Brechbarkeit auch verschieden beugbar, und werden sie nicht durch ihre verschiedene Beugung so von einander getrennt, dass sie die Farben der oben beschriebenen Säume hervorrufen? Und in welcher Weise werden sie gebeugt, um diese Farbensäume zu bilden?

Frage 3. Werden nicht die Lichtstrahlen beim Vorübergange an den Rändern und Kanten der Körper in aalartiger Bewegung mehrmals hin- und hergebeugt? Und entstehen nicht die drei beschriebenen Farbensäume aus drei solchen Beugungen?

Frage 4. Fangen nicht die Lichtstrahlen, welche auf die Körper fallen und reflectirt oder gebrochen werden, schon vor ihrem Auftreffen an, gebeugt zu werden, und erfolgt nicht die Reflexion, die Brechung und die Beugung durch eine und dieselbe Kraft, die nur unter verschiedenen Umständen sich verschieden äussert?

Frage 5. Wirken nicht die Körper und das Licht gegenseitig auf einander ein, d. h. wirken nicht die Körper auf das Licht, indem sie es aussenden, zurückwerfen, brechen und beugen, und das Licht auf die Körper, indem es sie erwärmt und ihre Theilchen in diejenige vibrirende Bewegung versetzt, in der die Wärme besteht?

Frage 6. Nehmen nicht schwarze Körper leichter die Wärme vom Lichte auf, als die von anderer Farbe, weil das auffallende Licht nicht von ihnen zurückgeworfen wird, sondern in die Körper eindringt und innerhalb derselben vielmals reflectirt und gebrochen wird, bis es erstickt ist und verschwindet?

Frage 7. Ist nicht die kräftige Wirkung zwischen Licht und schwefeligen Körpern ein Grund dafür, dass schwefelige Körper leichter Feuer fangen und lebhafter brennen, als andere?

Frage 8. Senden nicht alle festen Körper, wenn sie über einen gewissen Grad erhitzt sind, ein glänzendes Licht aus, und rührt dies nicht von einer vibrirenden Bewegung ihrer Theilchen her? Und senden nicht alle Körper, welche viel erdige und insbesondere schwefelige Theilchen enthalten, Licht aus, so oft diese Theilchen genügend in Bewegung gerathen, sei es durch Erhitzung oder durch Reibung, durch Stoss oder Fäulniss oder Lebensbewegungen oder sonst eine Ursache? So z. B. das Meerwasser beim Rasen des Sturmes, Quecksilber, im Vacuum geschüttelt, der Rücken einer Katze oder der Hals eines Pferdes, wenn man sie im Dunkeln streichelt oder reibt, Holz, Fleisch und Fische beim Verfaulen, Dünste, die aus faulem Wasser aufsteigen, gewöhnlich Irrlichter genannt, durch Gährung erhitzte Haufen von feuchtem Heu oder Korn, Johanniswürmchen und die Augen gewisser Thiere in Folge der Lebensthätigkeit, der gewöhnliche Phosphor durch Reibung an irgend einem Körper oder angeregt durch saure Bestandtheile der Luft, Bernstein und manche Diamanten durch Schlagen, Pressen oder Reiben, die Splitter des Stahls, die der Feuerstein abschlägt, Eisen, welches durch rasches Hämmern so heiss wird, dass darauf geworfener Schwefel sich entzündet, die durch die rasche Bewegung der Räder Feuer fangenden Wellen der Räderachsen, gewisse Flüssigkeiten, deren Theilchen beim Vermischen mit Heftigkeit auf einander stossen, wie z. B. Vitriolöl, mit dem gleichen Gewichte Salpeter destillirt und dann mit dem doppelten Gewichte Anisöl

Digitized by Google

vermischt. Ebenso wird eine Glaskugel von 8 oder 10 Zoll Durchmesser, die man in einem Gestelle anbringt und rasch um ihre Axe dreht, leuchtend, wo sie gegen die Handfläche reibt; und wenn man gleichzeitig ein Stück weisses Papier oder weisses Zeug oder die Fingerspitze in $\frac{1}{4}$ oder $\frac{1}{2}$ Zoll Entfernung an den am schnellsten rotirenden Theil des Glases hält, so springt der durch die reibende Hand erregte elektrische Dunst gegen das Papier, das Zeug oder den Finger über und wird so erregt, dass er Licht aussendet und das weisse Papier, das Zeug oder den Finger wie einen Glühwurm leuchtend erscheinen lässt, und stösst, aus dem Glase hervorschiessend, bisweilen so heftig gegen den Finger, dass man es fühlt. Dieselben Erscheinungen hat man wahrgenommen, wenn man Bernstein oder einen langen Cylinder von Glas mit einem in der Hand gehaltenen Papiere so lange reibt, bis sie warm werden.

Frage 9. Ist nicht Feuer ein Körper, der so stark erhitzt ist, dass er Licht aussendet? Was ist rothglühendes Eisen anderes, als Feuer? Und was sonst ist brennende Kohle, als rothglühendes Holz?

Frage 10. Ist nicht die Flamme ein Dunst, Rauch oder eine Ausströmung, die so weit zur Rothgluth erhitzt ist, dass sie leuchtend wird? Denn Körper flammen nicht auf, ohne reichlich Rauch auszustossen, und dieser Rauch brennt in der Flamme. Das Irrlicht ist ein ohne Hitze leuchtender Dunst; besteht nun nicht zwischen diesem Dunste und der Flamme der nämliche Unterschied, wie zwischen faulendem Holze, das ohne Hitze leuchtet, und glühenden Kohlen? Wenn beim Destilliren von Spiritus das Feuer vom Destillirkolben entfernt wird, so entzündet sich der Dampf an der Flamme einer Kerze und die Flamme läuft entlang des Dampfes von der Kerze, bis in das Gefäss. Manche Körper, die durch Bewegung oder Gährung erhitzt sind, rauchen stark, wenn die Hitze gross wird, und bei genügend grosser Hitze leuchtet der Rauch und entzündet sich. Geschmolzene Metalle geben aus Mangel an Rauch keine Flamme, ausgenommen das Zink, welches reichlich raucht und daher brennt. Alle flammenden Körper, wie Oel, Talg, Wachs, Holz, Steinkohlen, Pech, Schwefel, werden durch das Verbrennen aufgezehrt und gehen in brennendem Rauche auf, und dieser ist beim Auslöschen der Flamme sehr dick und sichtbar und riecht bisweilen stark, verliert aber den Geruch, wenn er angezündet wird und ver-

Digitized by Google

brennt. Je nach der Natur des Rauches hat die Flamme verschiedene Farbe, die des Schwefels ist blau, des mit Sublimat erschlossenen Kupfers grün, die des Talgs gelb, des Kamphers weiss. Wenn Rauch durch eine Flamme geht, kann er nicht anders, als rothglühend werden, und rothglühender Rauch kann nicht anders aussehen, wie eine Flamme. Wenn Schiesspulver entzündet wird, geht es in brennendem Rauche auf; denn Holzkohle und Schwefel fangen leicht Feuer und entzünden den Salpeter, und der Spiritus desselben entweicht, zu Dampf verdünnt, unter Explosion fast in derselben Weise, wie der Wasserdampf aus einer Aeolipile; auch der Schwefel trägt zur Explosion bei, da er flüchtig ist und verdampft wird. Der saure Dunst des Schwefels (besonders solchen Schwefels, der bei Destillation unter der Glocke als Schwefelöl[15]) fortgeht) macht, indem er mit Gewalt in den festen Körper des Salpeters eindringt, den Spiritus des Salpeters frei und erzeugt eine stärkere Gährung, wodurch wieder die Hitze gesteigert und der feste Körper des Salpeters zu Rauch verdünnt wird und die Explosion heftiger und rascher vor sich geht. Denn wenn Weinsteinsalz mit Schiesspulver gemengt und die Mischung erhitzt wird, bis sie Feuer fängt, so erfolgt die Explosion heftiger und lebhafter, als die des Schiesspulvers allein, und dies kann keinen anderen Grund haben, als dass der Dampf des Schiesspulvers auf das Weinsteinsalz einwirkt und dasselbe verflüchtigt. Mithin entsteht die Explosion des Schiesspulvers aus der heftigen Einwirkung, durch welche die ganze Mischung plötzlich und heftig erhitzt, verdampft und in Rauch und Dunst verwandelt wird; dieser Dampf wird durch die Heftigkeit des Vorganges so heiss, dass er zu leuchten anfängt und zur Flamme wird.

Frage 11. Bewahren nicht grosse Körper ihre Wärme am längsten, indem ihre Theilchen sich gegenseitig erhitzen, und können nicht grosse, dichte und feste Körper, bis über einen gewissen Grad erhitzt, so reichlich Licht aussenden, dass sie durch die Emission und Reaction des Lichts und durch die Reflexion und Brechung der Lichtstrahlen innerhalb ihrer Poren immer noch heisser werden, bis sie endlich eine Hitze erreichen, wie die der Sonne? Sind nicht die Sonne und die Fixsterne grosse Körper, wie die Erde, aber im Zustande der höchsten Erhitzung, deren Hitze durch die Grösse der Körper und die gegenseitige Wirkung und Gegenwirkung und das von ihnen ausgesandte Licht erhalten bleibt, und

Digitized by Google

deren Theile nicht nur durch ihre Festigkeit am Verdunsten gehindert werden, sondern auch durch das grosse Gewicht und die Dichte der auf ihnen lagernden Atmosphären, die sie mächtig zusammenpressen und die von ihnen aufsteigenden Dünste immer wieder verdichten? Denn wenn man Wasser in einem durchsichtigen, luftleer gemachten Gefässe erwärmt, kocht es im Vacuum ebenso heftig, wie es in einem in der freien Luft an das Feuer gesetzten Gefässe erst bei viel grösserer Hitze kochen würde. Denn der Druck der darauf ruhenden Atmosphäre hält die Dämpfe nieder und verhindert das Wasser am Kochen so lange, bis es viel heisser ist, als zum Kochen im luftleeren Raume nöthig ist. Auch eine Legirung von Zinn und Blei, auf rothglühendes Eisen gebracht, giebt im luftleeren Raume Rauch und Flamme, an der freien Luft aber stösst sie wegen der auflagernden Atmosphäre nur wenig sichtbaren Rauch von sich. In derselben Weise mag wohl das grosse Gewicht der auf der Sonnenkugel lagernden Atmosphäre die dort befindlichen Körper verhindern, in Gestalt von Dampf und Rauch emporzusteigen und sich von der Sonne zu entfernen, ausser wenn die Hitze weit höher steigt, als die, welche an der Erdoberfläche sie leicht in Dunst und Rauch verwandeln würde. Und der nämliche grosse Druck vermag jene Dämpfe und Ausstrahlungen, sobald sie einmal von der Sonne aufsteigen wollen, wieder zu verdichten, so dass sie augenblicklich zum Sonnenkörper zurückfallen. Durch diese Thätigkeit wächst aber die Hitze etwa in derselben Weise, wie die Luft auf unserer Erde die Hitze eines Küchenfeuers erhöht. Derselbe Druck verhindert auch, dass der Sonnenkörper eine Abnahme erfährt, wenn dies nicht durch Aussendung von Licht und einer äusserst geringen Menge von Dünsten geschieht.

Frage 12. Erregen nicht die Lichtstrahlen, wenn sie auf den Hintergrund des Auges fallen, Schwingungen auf der Netzhaut, die sich entlang der festen Fasern der Sehnerven bis zum Gehirn verbreiten und dort den Eindruck des Sehens hervorrufen? Denn da dichte Körper ihre Wärme längere Zeit bewahren und die dichtesten am längsten, so sind die Schwingungen ihrer Theilchen von ausdauernder Natur und verbreiten sich entlang der festen Fasern von gleichmässig dichter Masse bis auf grosse Entfernungen hin, um die auf alle Sinnesorgane ausgeübten Eindrücke dem Gehirne zu übermitteln. Eine in einem Körpertheilchen lange ausdauernde

Digitized by Google

Bewegung kann weithin von einem Theilchen zum anderen sich ausbreiten, wenn nur der Körper homogen ist, so dass die Bewegung nicht durch Zurückwerfungen und Brechungen oder durch Unebenheiten des Körpers unterbrochen oder gestört wird.

Frage 13. Machen nicht verschiedene Arten von Lichtstrahlen Schwingungen [16]) von verschiedener Grösse und erregen dadurch die Empfindung verschiedener Farben, etwa ebenso, wie die Schwingungen der Luft je nach ihrer verschiedenen Grösse die Empfindung verschiedener Töne erregen? Erregen nicht besonders die brechbarsten Strahlen die kürzesten Schwingungen und rufen dadurch den Eindruck des Dunkelviolett hervor, und die am wenigsten brechbaren die grössten Schwingungen, um den Eindruck des tiefen Roth zu machen, und die verschiedenen mittleren Strahlen Schwingungen von mittlerer Grösse, um die Empfindung der verschiedenen Mittelfarben hervorzubringen?

Frage 14. Wird nicht die Harmonie und der Widerstreit der Farben aus dem Verhältniss der durch die Sehnerven bis zum Gehirn fortgepflanzten Schwingungen herstammen, ebenso, wie die Harmonie und der Widerstreit der Töne von den Verhältnissen der Luftschwingungen herrührt? Denn manche Farben stimmen, gleichzeitig erblickt, gut zu einander, wie z. B. Goldfarbe und Indigo, andere passen schlecht zusammen.

Frage 15. Vereinigen sich nicht die mit beiden Augen gesehenen Bilder von Objecten da, wo die Sehnerven vor ihrem Eintritte in das Gehirn zusammenstossen, indem die Fasern auf der rechten Seite beider Nerven sich daselbst vereinigen und von da, zu einem auf der rechten Seite des Kopfes gelegenen Nerv vereinigt, nach dem Gehirn gehen, und ebenso an derselben Stelle die Fasern auf der linken Seite beider Nerven sich vereinigen und als ein auf der linken Seite des Kopfes liegender Nerv nach dem Gehirn gehen? Diese zwei Nerven treffen im Gehirn dergestalt zusammen, dass ihre Fasern nur ein einziges, ganzes Bild erzeugen, dessen eine Hälfte auf der rechten Seite des Empfindungsorganes von der rechten Seite beider Augen durch die rechte Seite beider Sehnerven zu der Stelle gelangt, wo die Nerven zusammentreffen, und von da nach der rechten Seite des Gehirns, und dessen andere Hälfte auf der linken Seite des Empfindungsorgans in gleicher Weise von der linken Seite beider Augen

Digitized by Google

herkommt. Denn die Sehnerven solcher Thiere, die mit beiden Augen nach derselben Richtung blicken, wie die der Menschen, Hunde, Schafe, Ochsen u. s. w., treffen vor ihrem Eintritte in das Gehirn zusammen; dagegen vereinigen sich, wenn ich recht berichtet bin, die Sehnerven solcher Thiere, die, wie die Fische oder das Chamäleon, nicht mit beiden Augen nach derselben Seite blicken, gar nicht.

Frage 16. Wenn ein Mensch im Dunkeln den einen Augenwinkel mit dem Finger zusammendrückt und das Auge nach der dem Finger entgegengesetzten Seite dreht, so erblickt er Farbenringe, wie die in einer Pfauenschwanzfeder. Wenn Auge und Finger ruhig gehalten werden, verschwinden diese Farben innerhalb einer Secunde, wird aber der Finger mit einer vibrirenden Bewegung hin und her bewegt, so erscheinen sie wieder. Entstehen diese Farben nicht durch die vom Drucke oder von der Bewegung des Fingers im Hintergrunde des Auges erregten Bewegungen ebenso, wie sie ein andermal durch das Licht verursacht werden, welches das Sehen bewirkt? Und wenn diese Bewegungen einmal angeregt sind, dauern sie nicht eine Secunde lang, ehe sie wieder aufhören? Wenn man durch einen Schlag auf das Auge einen Lichtblitz sieht, werden nicht durch den Schlag ähnliche Bewegungen auf der Netzhaut erregt? Wenn eine feurige Kohle rasch im Kreise herumbewegt wird, erscheint der ganze Umfang wie ein feuriger Kreis; ist nicht der Grund dafür der, dass die durch das Licht im Hintergrunde des Auges erregten Bewegungen so lange andauern, bis die Kohle wieder im Kreise herum an ihren früheren Platz zurückgekehrt ist? Sollten nicht diese auf dem Hintergrunde des Auges durch das Licht erregten Bewegungen, wenn man ihr Ausdauern bedenkt, die Natur von Schwingungen haben?

Frage 17. Wenn ein Stein in ruhiges Wasser geworfen wird, erheben sich eine Zeit lang die Wellen[17]) an der Stelle, wo er in das Wasser fiel, und pflanzen sich von da in concentrischen Kreisen auf der Wasserfläche bis zu grossen Entfernungen fort. Die durch eine Erschütterung in der Luft erregten zitternden Schwingungen gehen eine Zeitlang vom Erregungsmittelpunkte aus in concentrischen Kreisen bis auf grosse Entfernungen hin. Werden nun nicht in der nämlichen Weise, wenn ein Lichtstrahl auf die Oberfläche eines durchsichtigen Körpers fällt und dort zurückgeworfen oder gebrochen wird, in dem Einfallspunkte Wellen von Vibrationen oder

Digitized by Google

Erzitterungen in dem brechenden oder reflectirenden Medium erregt, die sich andauernd hier erheben und von hier, solange sie dauern, sich ausbreiten, oder ebenso, wenn sie durch Druck oder Bewegung des Fingers, oder das in dem beschriebenen Versuche von der feurigen Kohle ausgehende Licht im Hintergrunde des Auges erregt werden? Pflanzen sich nicht diese Vibrationen bis zu grossen Entfernungen fort, und erreichen und überholen sie nicht die Lichstrahlen einen nach dem anderen und versetzen sie dadurch[18]) in die Anwandlungen leichter Reflexion oder leichten Durchganges, die wir oben beschrieben haben? Denn wenn die Strahlen vom dichtesten Theile der Vibration zurückzugehen bestrebt sind, können sie durch die sie überholenden Schwingungen abwechselnd beschleunigt und verzögert werden.

Frage 18. Wenn man in zwei umgekehrte weite und lange Cylindergläser zwei kleine Thermometer so aufhängt, dass sie die Gefässe nicht berühren, und aus einem dieser Gefässe die Luft auspumpt, und wenn man alsdann die so vorbereiteten Gefässe aus einem kalten Orte an einen warmen bringt, so erwärmt sich das im Vacuum aufgehängte Thermometer ebenso sehr und ebenso schnell, wie das im nicht evacuirten Glas, und wenn die Gefässe nach dem kalten Orte zurückgebracht werden, wird jenes auch fast ebenso schnell kalt, wie das andere. Wird also nicht die Hitze des warmen Raumes durch das Vacuum hindurch vermittelst der Schwingungen eines viel feineren Mediums, als die Luft ist[19]), übertragen, welches nach Entfernung der Luft noch im Gefässe zurückblieb? Und ist dieses Medium nicht dasselbe, durch welches das Licht gebrochen oder zurückgeworfen wird, und durch dessen Schwingungen das Licht die Körper erwärmt und in Anwandlungen leichter Reflexion oder Transmission versetzt wird? Und tragen nicht die Schwingungen dieses Mediums in heissen Körpern zur Intensität und zum Andauern der Hitze bei? Theilen nicht die Körper ihre Wärme anderen, benachbarten kalten Körpern eben dadurch mit, dass die Schwingungen dieses Mediums sich von ihnen zu den kalten Körpern ausbreiten? Ist dieses Medium nicht ausserordentlich dünner und feiner als die Luft, und sehr viel elastischer und lebhafter? Durchdringt es nicht leicht alle Körper und ist es nicht wegen seiner elastischen Kraft durch den ganzen Weltraum verbreitet?

Frage 19. Geht nicht die Brechung des Lichts aus

Digitized by Google

der verschiedenen Dichtigkeit dieses ätherischen Mediums an verschiedenen Orten hervor, indem das Licht immer von den dichteren Theilen des Mediums zurückweicht? Ist nicht die Dichtigkeit desselben in freien und offenen Räumen, die leer von Luft und anderen dichteren Körpern sind, grösser, als zwischen den Poren des Wassers, des Glases, Krystalls, der Edelsteine und anderer fester Körper? Denn wenn Licht durch Glas oder Krystall geht und sehr schief auf die entfernteren Grenzflächen fällt, so dass es total reflectirt wird, so muss diese totale Reflexion doch vielmehr von der Dichtigkeit und Stärke des Mediums ausserhalb und jenseits des Glases, als von seiner Dünne und Schwäche herrühren.

Frage 20. Wird nicht dieses ätherische Medium, wenn es aus Wasser, Glas, Krystall und anderen dichten und festen Körpern in den leeren Raum austritt, gradweise immer dichter, so dass es dadurch die Lichtstrahlen nicht in einem Punkte bricht, sondern sie allmählich in krumme Linien biegt? Erstreckt sich nicht die allmähliche Verdichtung dieses Mediums bis auf einige Entfernung von den Körpern und verursacht dadurch die Beugung der an den Rändern der Körper in einiger Entfernung vorbeigehenden Lichtstrahlen?

Frage 21. Ist nicht dieses Medium in der Sonne, den Sternen, Planeten und Kometen viel dünner, als in den leeren Himmelsräumen zwischen ihnen? Wird es nicht in grossen Entfernungen von ihnen beständig immer dichter und dichter und verursacht dadurch die gegenseitige Gravitation[20]) solcher grossen Körper und ihrer Theile, weil jeder Körper von dem dichteren Theile des Mediums nach dem dünneren zu gehen strebt? Denn wenn dieses Medium im Innern des Sonnenkörpers dünner ist, als an seiner Oberfläche, und hier dünner, als in $\frac{1}{100}$ Zoll Entfernung vom Körper und hier wieder dünner, als $\frac{1}{50}$ Zoll vom Körper entfernt, und da wieder dünner, als in der Saturnbahn, so ist kein Grund vorhanden, warum dieses Wachsen der Dichte irgendwo aufhören und nicht vielmehr durch alle Entfernungen von der Sonne bis zum Saturn und darüber hinaus sich fortsetzen sollte. Wenn auch dieses Wachsen der Dichte bei grossen Entfernungen ausserordentlich gering sein mag, so reicht es doch hin, wenn die elastische Kraft des Mittels ausserordentlich gross ist, um die Körper von den dichteren nach den dünneren Theilen des Mediums zu treiben mit aller der Kraft, welche wir Gravitation nennen. Dass aber die elastische Kraft dieses

Digitized by Google

Mediums ausserordentlich gross ist, kann aus der Geschwindigkeit der Schwingungen bewiesen werden. Der Schall legt in der Secunde ungefähr 1140 engl. Fuss zurück und in 7—8 Minuten gegen 100 engl. Meilen. Das Licht gelangt von der Sonne zu uns in etwa 7—8 Minuten, und diese Entfernung beträgt, wenn man die Horizontalparallaxe der Sonne zu 12″ annimmt, 70 000 000 engl. Meilen. Die Vibrationen und Stösse des Mediums müssen, damit sie die abwechselnden Anwandlungen leichter Reflexion und leichten Durchganges veranlassen, schneller, als das Licht sein und daher 700 000 mal schneller, als der Schall. Daher muss die elastische Kraft dieses Mediums im Verhältniss zu seiner Dichte über 700 000 × 700 000 (d. i. über 490 000 000 000) mal grösser sein, als die elastische Kraft der Luft im Verhältniss zu ihrer Dichte. Denn die Geschwindigkeiten der Stösse des elastischen Mediums sind proportional der Quadratwurzel aus der Elasticität und Dichte des Mediums zusammengenommen.

Ebenso, wie die Anziehung in kleinen Magneten im Verhältniss zu ihren Massen stärker ist, als in grossen, und die Gravitation auf der Oberfläche kleiner Planeten im Verhältniss zu ihren Massen stärker ist, als auf grossen Planeten, und wie kleine Körper durch die elektrische Anziehung viel mehr bewegt werden, als grosse, ebenso mag die Kleinheit der Lichtstrahlen [der Lichtkörperchen] viel dazu beitragen, dass die Kraft des Agens, durch welche sie gebrochen werden, stärker wird. Ebenso kann, wenn Jemand annehmen wollte, dass der Aether, wie unsere Luft, aus Theilchen bestehe, die sich gegenseitig abzustossen streben (denn was dieser Aether ist, weiss ich nicht), und dass diese Theilchen noch bedeutend kleiner seien, als die der Luft, die ausserordentliche Kleinheit dieser Theilchen dazu beitragen, dass diese abstossende Kraft der Theilchen so gross ist, und kann dieses Medium bei weitem dünner und elastischer machen, als die Luft, und deshalb weit weniger geeignet, den Bewegungen der Projectile zu widerstehen, und weit mehr geeignet, durch das Bestreben der eigenen Ausdehnung auf grosse Körper einen Druck auszuüben.

Frage 22. Können nicht Planeten, Kometen und alle grossen Körper in diesem ätherischen Medium ihre Bewegungen viel freier und mit weniger Widerstand vollführen, als in irgend einer Flüssigkeit, welche gleichmässig jeden Raum erfüllt, ohne Poren zu lassen, und mithin viel dichter ist, als

Digitized by Google

Quecksilber oder Gold? Kann nicht dieser Widerstand so gering sein, dass er gar nicht in Betracht kommt? Nimmt man z. B. an, dieser Aether (denn so will ich ihn nennen) sei 700 000 mal elastischer und dabei 700 000 mal dünner, als unsere Luft, so würde sein Widerstand über 600 000 000 mal geringer sein, als der des Wassers, und ein so geringer Widerstand würde kaum in zehntausend Jahren an der Bewegung der Planeten eine merkliche Aenderung hervorbringen. Wenn Jemand fragen sollte, wie ein Medium so dünn sein kann, der soll mir sagen, wie die Luft in den obersten Theilen der Atmosphäre über hunderttausendmal dünner sein kann, als Gold, der möge mir ferner sagen, wie ein geriebener elektrischer Körper so dünne und so feine Exhalationen von sich geben kann, dass durch deren Emission keine merkliche Gewichtsabnahme eintritt, die aber dennoch so kräftig sind, dass sie sich über einen Raum von zwei Fuss Durchmesser ausbreiten und in 1 Fuss Entfernung vom elektrischen Körper Blättchen von Kupfer und Gold in Bewegung zu setzen und zu tragen im Stande sind. Und wie können die magnetischen Ausflüsse [Effluvia] so dünn und fein sein, dass sie ohne Widerstand und ohne Kraftverlust durch eine Glasplatte dringen und doch noch im Stande sind, jenseits des Glases eine Magnetnadel in Bewegung zu setzen?

Frage 23. Beruht nicht das Sehen im Wesentlichen auf Schwingungen dieses Mediums, welche durch die Lichtstrahlen im Hintergrunde des Auges erregt und durch die festen, durchsichtigen und gleichförmigen Fäserchen [Capillamenta] der Sehnerven bis an den Ort der Wahrnehmung fortgepflanzt werden? Und kommt nicht das Hören durch Schwingungen dieses oder eines anderen Mediums zu Stande, die in den Gehörnerven durch Erschütterungen der Luft erregt und durch die festen, durchsichtigen und gleichförmigen Fasern dieser Nerven bis an den Wahrnehmungsort fortgepflanzt werden? Und ebenso bei den anderen Sinnen.

Frage 24. Wird nicht die Bewegung bei Thieren dadurch hervorgebracht, dass die Kraft des Willens Vibrationen dieses Mediums im Gehirn erregt, die sich durch die festen, durchsichtigen und gleichförmigen Nervenfasern bis in die Muskeln fortpflanzen, um sie zusammenzuziehen oder zu strecken? Ich nehme an, dass die Nervenfasern [Capillamenta], jede für sich, fest und gleichförmig sind, so dass die vibrirende Bewegung des ätherischen Mediums von einem Ende

Digitized by Google

derselben bis zum anderen sich gleichförmig und ohne Unterbrechung fortpflanzen kann, denn Stockungen in den Nerven verursachen Lähmungen. Damit sie genügend gleichförmig sind, nehme ich an, dass jede, einzeln betrachtet, durchsichtig ist, wenn auch der ganze Nerv zufolge der Reflexionen an seiner cylindrischen Oberfläche, da er aus vielen solchen Fasern besteht, undurchsichtig weiss aussieht. Denn Undurchsichtigkeit ergiebt sich bei solchen Oberflächen, welche die Bewegungen dieses Mediums stören und unterbrechen können.

Frage 25. Haben die Lichtstrahlen nicht ausser den beschriebenen noch andere ursprüngliche Eigenschaften? Ein Beispiel für eine solche besondere Eigenschaft haben wir in der Brechung durch einen isländischen Krystall, wie sie zuerst *Erasmus Bartholinus* und später noch genauer *Hugenius* in seinem Buche: *De la lumière* beschrieben hat. Dieser Krystall ist ein durchsichtiger, spaltbarer Stein, klar und farblos, wie Wasser oder Bergkrystall; er verträgt Rothgluth, ohne seine Durchsichtigkeit zu verlieren, und in der grössten Hitze calcinirt er, ohne zu schmelzen; zwei oder drei Tage gewässert, verliert er seinen natürlichen Glanz; mit Tuch gerieben, zieht er, wie Bernstein oder Glas, Strohhalme und andere leichte Körper an, und in Scheidewasser braust er auf. Er scheint eine Art Talk zu sein und findet sich in Form von schiefen Parallelepipeden, welche 6 Parallelogramme als Seiten haben, und 8 Ecken. Jeder der stumpfen Winkel der Parallelogramme beträgt $101^{\circ}52'$, die spitzen Winkel $78^{\circ}8'$. Zwei von den einander gegenüberliegenden Ecken, wie C und E (Fig. 12), sind von drei solchen stumpfen Winkeln gebildet, und jede der anderen sechs Ecken hat einen stumpfen und zwei spitze Winkel. Er spaltet sich leicht nach Parallelebenen zu seinen Seitenflächen, aber nicht nach anderen Richtungen; die Spaltflächen sind glatt und glänzend, aber mit kleinen Unebenheiten. Er lässt sich leicht ritzen und nimmt wegen seiner Weichheit nur schwer Politur an; er schleift sich besser auf Spiegelglas, als auf Metall, vielleicht noch besser auf Pech, Leder oder Pergament. Nach dem Schleifen muss man ihn mit ein wenig Oel oder Eiweiss einreiben, um die Kritzel auszufüllen, alsdann wird er sehr durchsichtig und glatt. Für manche Versuche aber braucht man ihn gar nicht zu schleifen. Legt man einen solchen Krystall auf ein Buch, so erscheint in Folge von Doppelbrechung jeder durch ihn erblickte Buchstabe doppelt; und

Digitized by Google

wenn ein Lichtstrahl senkrecht oder schief auf irgend eine Fläche dieses Krystalls fällt, so wird er durch doppelte Brechung in zwei Strahlen zertheilt, welche von derselben Farbe, wie das einfallende Licht, und auch in der Lichtstärke einander gleich oder doch nahezu gleich erscheinen. Die eine dieser Brechungen erfolgt nach den gewöhnlichen Regeln der Optik, indem der Sinus des Einfalls aus Luft in den Krystall sich zum Sinus der Brechung, wie 5 : 3 verhält. Die andere Brechung, welche die ungewöhnliche genannt werden soll, befolgt nachstehende Regel.

Es sei $ADBC$ die brechende Ebene des Krystalls, C die grösste Ecke des Körpers an dieser Fläche, $GEHF$ die gegenüberliegende Fläche und CK eine Senkrechte auf dieser Fläche. Diese Senkrechte bildet mit der Kante CF des Krystalls einen Winkel von 19°3′. Man ziehe KF und nehme darauf KL so, dass der Winkel $KCL = 6°40'$ und $LCF = 12°23'$ werde. Ein Lichtstrahl ST falle bei T unter irgend einem Winkel auf die brechende Fläche $ADBC$, und TV sei der nach der gewöhnlichen Regel der Optik aus dem Verhältnisse der Sinus 5 : 3 zu bestimmende gebrochene Strahl. Zieht man VX parallel und gleich KL, so dass sie ebenso gegen V liegt, wie L gegen K, und verbindet man T mit X, so wird die Linie TX den anderen gebrochenen Strahl darstellen, welcher durch die ungewöhnliche Brechung von T nach X gelangt[21]).

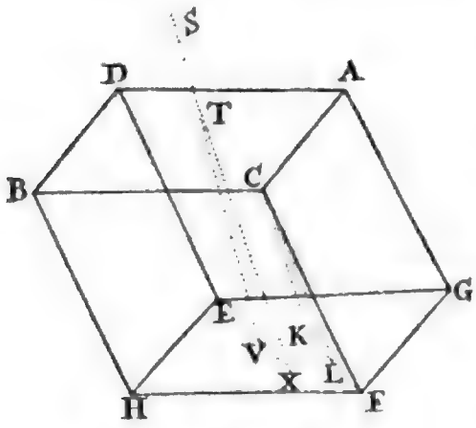

Fig. 12.

Wenn daher der einfallende Strahl ST zur brechenden Ebene senkrecht ist, so werden die beiden Strahlen TV und TX, in welche er gespalten wird, den Linien CK und CL parallel sein, indem der eine dieser Strahlen nach den gewöhnlichen Regeln der Optik senkrecht durch den Krystall geht, der andere, TX, durch eine ungewöhnliche Brechung von der Senkrechten abweicht und mit ihr, wie der Versuch ergiebt, einen Winkel VTX von ungefähr $6\frac{2}{3}°$ bildet. Daher nennt man die Ebene VTX und ähnliche zur Ebene CFK parallele Ebenen die Ebenen der senkrechten Brechung; und die Seite, nach welcher die Linien KL und

Digitized by Google

VX gezogen sind, die Seite [coast] der ungewöhnlichen Brechung.

Auch der Bergkrystall besitzt Doppelbrechung, aber die Verschiedenheit der beiden Brechungen ist nicht so gross und deutlich, wie beim isländischen Krystall.

Wenn der einfallende Strahl ST in die beiden Strahlen TV und TX getheilt wird und diese auf die hintere Fläche des Krystalls fallen, so wird der an der ersten Fläche ordentlich gebrochene Strahl auch an der zweiten Fläche nach der gewöhnlichen Regel gebrochen, und der an der ersten Fläche ungewöhnlich gebrochene Strahl TX wird auch an der zweiten Fläche ungewöhnlich gebrochen, so dass beide Strahlen aus der hinteren Fläche in Linien austreten, welche dem einfallenden Strahle ST parallel sind.

Stellt man zwei isländische Krystalle so hinter einander, dass die entsprechenden Flächen beider parallel zu einander sind, so werden die an der ersten Fläche des ersten Krystalls ordentlich gebrochenen Strahlen auch an allen folgenden Flächen ordentlich gebrochen, und die an der ersten Fläche ungewöhnlich gebrochenen auch an allen folgenden Flächen ebenso gebrochen. Dies ist auch dann noch der Fall, wenn die Flächen der Krystalle ein wenig gegen einander geneigt werden, wenn nur ihre Ebenen der senkrechten Brechung einander parallel bleiben.

Es besteht daher eine ursprüngliche Verschiedenheit der Lichtstrahlen insofern, als bei diesem Versuche einige Strahlen beständig in ordentlicher, andere immer in ausserordentlicher Weise gebrochen werden; denn wenn diese Verschiedenheit nicht ursprünglich, sondern erst aus neuen, bei der ersten Brechung entstandenen Modificationen der Strahlen hervorginge, so würde sie auch bei den nachfolgenden drei Brechungen sich wieder ändern, während sie doch constant ist und bei allen Brechungen ganz denselben Erfolg hat. Die ausserordentliche Brechung wird deshalb durch eine ursprüngliche Eigenschaft der Lichtstrahlen hervorgebracht, und es bleibt zu untersuchen, ob nicht die Strahlen noch mehr ursprüngliche Eigenschaften besitzen, als die bis jetzt entdeckten.

Frage 26. Haben nicht die Lichtstrahlen verschiedene Seiten, die mit verschiedenen ursprünglichen Eigenschaften begabt sind? Wenn nämlich die Ebenen senkrechter Brechung des zweiten Krystalls mit denselben Ebenen des ersten einen

Digitized by Google

rechten Winkel bilden, so werden die im ersten Krystall ordentlich gebrochenen Strahlen beim Durchgange durch den zweiten Krystall ausserordentlich und die den ersten mit ausserordentlicher Brechung durchlaufenden Strahlen im zweiten Krystall ordentlich gebrochen. Daher darf man nicht zwei verschiedene Arten von Strahlen unterscheiden, von denen etwa die eine constant in allen Lagen ordentlich, die andere ausserordentlich gebrochen werde. Der bei dem Versuch der 25. Frage erwähnte Unterschied zwischen den beiden Strahlenarten beruhte nur in der Lage der Strahlen zu den Ebenen der senkrechten Brechung; denn ein und derselbe Strahl wird je nach seiner Lage zu den Krystallflächen bald nach der ordentlichen, bald nach der ausserordentlichen Weise gebrochen. Wenn die Seiten des Strahles zu beiden Krystallen die nämliche Lage haben, wird er in beiden in derselben Weise gebrochen; wenn aber die nach der Seite der ungewöhnlichen Brechung des ersten Krystalls gelegene Seite des Strahls mit der nach derselben Seite des zweiten Krystalls gelegenen Seite einen Winkel von 90° bildet (was durch Drehung des zweiten Krystalls gegen den ersten und dadurch auch gegen die Lichtstrahlen erreicht wird), so erfolgen die Brechungen des Strahles in den beiden Krystallen auf verschiedene Weise. Um zu bestimmen, ob die auf den zweiten Krystall fallenden Strahlen die ordentliche oder die ausserordentliche Brechung erfahren werden, ist nichts weiter nöthig, als diesen Krystall so zu drehen, dass die Seite der ungewöhnlichen Brechung auf dieser oder auf jener Seite des Strahles liegt. Deshalb muss man an jedem Lichtstrahle vier Seiten oder vier Viertel unterscheiden, von denen zwei einander gegenüberliegende den Strahl befähigen, ungewöhnlich gebrochen zu werden, sobald eine von ihnen gegen die Seite der ungewöhnlichen Brechung gekehrt ist, die beiden anderen bei derselben Lage ihm keine andere, als die gewöhnliche Brechung gestatten. Die beiden ersten kann man darnach die Seiten der ausserordentlichen Brechung nennen. Weil diese Disposition bereits in den Strahlen liegt, ehe sie auf die zweite, dritte und vierte Fläche der beiden Krystalle fallen, und allem Anscheine nach bei ihrem Durchgange durch diese Flächen durch die Brechung keine Aenderung erfährt, die Strahlen vielmehr an allen vier Flächen nach demselben Gesetze gebrochen werden, so ist klar, dass diese Dispositionen ursprünglich in den Strahlen lagen und durch die erste

Digitized by Google

Brechung keine Aenderung erlitten, und dass in Folge derselben beim Auftreffen der Strahlen auf die erste Fläche des ersten Krystalls einige nach der gewöhnlichen, andere nach der ungewöhnlichen Weise gebrochen wurden, je nachdem ihre Seiten der ausserordentlichen Brechung den Seiten der ungewöhnlichen Brechung dieses Krystalls zugewandt oder seitlich abgewandt waren.

Jeder Lichtstrahl hat also zwei entgegengesetzte Seiten, welche ursprünglich mit einer Eigenschaft begabt sind, von der die ausserordentliche Brechung abhängt, während die beiden anderen, gegenüberliegenden Seiten diese Eigenschaft nicht besitzen. Es bleibt noch zu untersuchen, ob es noch andere Eigenschaften des Lichts giebt, in denen diese Seiten der Strahlen von einander abweichen, und durch welche sie unterschieden werden könnten.

Bei der Erklärung des Unterschiedes zwischen den erwähnten Seiten der Strahlen habe ich angenommen, dass die Strahlen senkrecht auf den ersten Krystall fallen. Der Erfolg ist aber der nämliche, wenn die Strahlen schief auffallen. Die im ersten Krystall ordentlich gebrochenen Strahlen werden im zweiten Krystall ausserordentlich gebrochen, wenn die Ebenen der senkrechten Brechung, wie oben, zu einander senkrecht stehen, und umgekehrt.

Sind aber die Ebenen der senkrechten Brechung in den beiden Krystallen weder parallel, noch senkrecht zu einander, sondern bilden sie einen spitzen Winkel, so wird jeder der beiden aus dem ersten Krystall austretenden Lichtstrahlen beim Eintritt in den zweiten Krystall in zwei Strahlen gespalten; denn in diesem Falle haben von jedem der beiden Strahlenbündel einige Strahlen ihre Seiten der ungewöhnlichen Brechung, andere Strahlen ihre anderen Seiten nach der Seite der ungewöhnlichen Brechung des zweiten Krystalls hin gekehrt.

Frage 27. Sind nicht alle Hypothesen unrichtig, welche man bisher aufgestellt hat, um die Erscheinungen des Lichts durch neue Modificationen zu erklären? Denn von solchen hängen die Erscheinungen beim Lichte nicht ab, sondern von gewissen ursprünglichen und unabänderlichen Eigenschaften der Strahlen.

Frage 28. Sind nicht alle Hypothesen unrichtig, nach denen das Licht in einem Druck oder einer Bewegung bestehen soll, die sich in einem Fluidum ausbreiten? Denn bei allen diesen Hypothesen sind die Lichterscheinungen bisher immer unter der Annahme erklärt worden, dass sie durch

neue Modificationen [die sie in den Körpern erfahren] entstehen, — und dies ist eine irrige Voraussetzung.

Wenn das Licht nur in Druck ohne thatsächliche Bewegung bestünde, so könnte es die Körper, von denen es zurückgeworfen oder gebrochen wird, nicht durch Erregung [ihrer Theilchen] erwärmen. Wenn es eine im Augenblick durch alle Entfernungen fortgepflanzte Bewegung wäre, so würde jeden Augenblick in jedem leuchtenden Theilchen eine unendlich grosse Kraft erforderlich sein, diese Bewegung zu erzeugen. Wenn es in einem Druck oder einer Bewegung bestünde, die sich zeitlich oder augenblicklich fortpflanzten, so müsste es nach dem Schatten umbiegen; denn Druck oder Bewegung können sich in einem Fluidum nicht in geraden Linien an einem Hinderniss, welches einen Theil dieser Bewegung aufhält, vorüber bewegen, ohne in das ruhende Medium hinter dem Hindernisse gebeugt und ausgebreitet zu werden. Die Schwerkraft ist nach unten gerichtet, aber der daraus entspringende Druck des Wassers ist mit gleicher Kraft nach allen Seiten gerichtet und pflanzt sich ebenso leicht und mit derselben Kraft nach der Seite, wie nach unten, auf geraden, wie auf krummen Wegen fort. Wenn die an der Oberfläche ruhigen Wassers erregten Wellen an den Seiten eines breiten Hindernisses vorbei kommen, biegen sie dahinter um und verbreiten sich in das ruhige Wasser hinter demselben. Auch die Wellen, Stösse und Schwingungen der Luft, die den Schall bilden, werden offenbar gebeugt, wenn auch nicht so stark, wie Wasserwellen. Denn eine Glocke oder eine Kanone hört man hinter einem Hügel, der den tönenden Körper nicht erblicken lässt, und Töne verbreiten sich ebenso leicht in krummen, wie in geraden Pfeifen. Aber vom Lichte bemerken wir niemals, dass es krumme Bahnen verfolgt, noch in den Schatten einbiegt. Fixsterne verschwinden beim Dazwischentreten eines Planeten, und ebenso die Stellen der Sonnenscheibe, vor denen Mond, Merkur oder Venus vorübergehen. Die sehr dicht an den Kanten eines Körpers vorbeigehenden Lichtstrahlen werden zwar durch die Einwirkung des Körpers ein wenig gebeugt, wie wir gesehen haben, aber diese Beugung erfolgt nicht nach dem Schatten hin, sondern von ihm weg und nur, wenn sie in allernächster Nähe am Körper vorübergehen; und sowie der Strahl am Körper vorbei ist, geht er in gerader Linie weiter.

Eine Erklärung der ungewöhnlichen Brechung im isländ-

Digitized by Google

dischen Krystall durch einen Druck oder eine Bewegung hat bisher (meines Wissens) nur *Huygens* unternommen, der zu diesem Zwecke zwei verschiedene schwingende Media im Inneren des Krystalls annahm; als er aber die Brechungen in zwei Krystallen hinter einander untersuchte und die oben mitgetheilten Resultate erhielt, bekannte er sich selbst ausser Stande, dieselben zu erklären. Denn Druck und Bewegung, die sich von einem leuchtenden Körper in einem gleichförmigen Medium ausbreiten, müssen sich nach allen Seiten hin in gleicher Weise fortpflanzen, während doch aus jenen Versuchen einleuchtet, dass die Lichtstrahlen nach verschiedenen Seiten hin verschiedene Eigenschaften haben. Er vermuthete, dass die Stösse des Aethers beim Durchlaufen des ersten Krystalls gewisse Modificationen erführen, welche sie befähigten, nun innerhalb des zweiten Krystalls je nach dessen Stellung nach dem einen oder dem anderen Medium sich fortzupflanzen. Worin aber diese Modificationen bestehen sollten, konnte er nicht sagen, noch über diesen Punkt zu befriedigender Klarheit gelangen*). Und wenn er gewusst hätte, dass die ausserordentliche Brechung nicht von neuen Modificationen abhängt, sondern von ursprünglichen und unveränderlichen Dispositionen der Strahlen, würde er es noch ebenso schwierig gefunden haben, wie diese nach seiner Ansicht den Strahlen im ersten Krystalle aufgeprägten Dispositionen schon vor dem Auftreffen auf diesen Krystall in den Strahlen vorhanden sein konnten, überhaupt, wie alle von dem leuchtenden Körper ausgesandten Strahlen diese Disposition von Anbeginn an besitzen können. Mir wenigstens scheint dies unerklärlich, wenn das Licht in nichts Anderem bestehen soll, als in einem durch den Aether fortgepflanzten Drucke oder einer Bewegung.

Ebenso schwierig ist es, auf Grund dieser Hypothese zu erklären, wie die Strahlen abwechselnd in Anwandlungen leichter Reflexion und leichten Durchganges sein können, man müsste denn annehmen, es gäbe überall im Raume zwei vibrirende ätherische Medien, von denen das eine durch seine Schwingungen das Licht hervorbringt, während die Vibrationen des anderen schnellere sind und, so oft sie die des ersteren überholen, sie in jene Anwandlungen versetzen. Wie aber

*) »Wie dies aber geschieht, dafür habe ich bis jetzt eine mich befriedigende Erklärung nicht gefunden«. *Huygens*, de la lumière, cap. V., pag. 91.

Digitized by

zweierlei Aether im ganzen Raume verbreitet sein soll, von denen der eine auf den anderen einwirkt und dessen Gegenwirkung erfährt, ohne dass Verzögerungen, Erschütterungen und Verwirrungen ihrer Bewegungen eintreten, ist nicht zu begreifen. Gegen die Erfüllung des Himmels mit flüssigen Medien, wenn sie nicht ausserordentlich dünn sein sollen, spricht auch sehr stark die regelmässige und andauernde Bewegung der Planeten und Kometen auf allen möglichen Bahnen am Himmel, aus der sich deutlich ergiebt, dass die Himmelsräume von merklichem Widerstande und folglich von jeder wahrnehmbaren Materie frei sind.

Der Widerstand einer Flüssigkeit besteht zum Theil in der Reibung der Theilchen des Mediums, zum Theil in der Trägheit des Stoffs. Der aus der Reibung entspringende Antheil des Widerstandes einer Kugel ist nahezu proportional dem Durchmesser oder dem Producte aus dem Durchmesser und der Geschwindigkeit der Kugel, und der aus der Trägheit entspringende Antheil dem Quadrate dieses Products. Da man durch diese Verschiedenheit die beiden Theile des Widerstandes in irgend einem Medium von einander unterscheiden kann, so wird man finden, dass fast aller Widerstand bei der Bewegung grosser Körper in Luft, Wasser oder Quecksilber von der Trägheit dieser Flüssigkeitstheilchen herrührt.

Nun kann der Theil des Widerstandes, welcher von der Zähigkeit und der Reibung der Theilchen des Mediums herrührt, durch Zerkleinern der Materie und Glätten und Schlüpfrigmachen der Theilchen vermindert werden, der von der Trägheit stammende Theil aber ist der Dichtigkeit der Materie proportional und lässt sich nicht durch Zerkleinern oder andere Hülfsmittel, sondern nur durch Verminderung dieser Dichtigkeit selbst kleiner machen. Aus diesem Grunde ist die Dichtigkeit eines flüssigen Mediums ihrem Widerstande sehr nahe proportional. Flüssigkeiten, deren Dichtigkeiten wenig verschieden sind, wie Wasser, Weingeist, Terpentinspiritus, heisses Oel, haben auch fast denselben Widerstand. Wasser ist 13—14 mal leichter und mithin ebensoviel dünner, als Quecksilber, und ungefähr in demselben Verhältniss ist sein Widerstand geringer, wie ich durch Pendelversuche [22]) ermittelt habe. Die atmosphärische Luft ist 8—900 mal leichter und dünner, als Wasser, und deshalb steht ihr Widerstand in ungefähr demselben Verhältnisse zu dem des Wassers, wie ich ebenfalls aus Pendelbeobachtungen gefunden habe. In dün-

Digitized by Google

nerer Luft ist er noch geringer und wird schliesslich bei fortgesetzter Verdünnung ganz unmerklich; denn kleine Federn, die in freier Luft unter grossem Widerstande herabsinken, fallen in einer grossen, luftleer gemachten Glasröhre ebenso schnell, wie Blei oder Gold, ein Versuch, den ich öfters gesehen habe. Demnach scheint der Widerstand im Verhältniss der Dichte des Fluidums abzunehmen. Denn durch keinen Versuch habe ich gefunden, dass Körper, die sich in Quecksilber, Wasser oder Luft bewegen, irgend einen anderen Widerstand erführen, als durch die Zähigkeit und Dichtigkeit dieser Flüssigkeiten, wie es doch der Fall sein würde, wenn noch ein anderes, dichteres oder dünneres Fluidum die Poren dieser Flüssigkeiten, wie den ganzen Raum, ausfüllte. Wenn nun der Widerstand in einem gut luftleer gemachten Gefässe nur hundertmal kleiner wäre, als in der freien Luft, so würde er in Quecksilber ungefähr millionenmal kleiner sein. Aber er scheint in einem solchen Gefässe noch kleiner zu sein, und am Himmel, 3—400 Meilen von der Erde, noch viel kleiner. Herr *Boyle* hat gezeigt, dass sich Luft in Glasgefässen über 10 000 mal verdünnen lässt, und der Himmel ist noch viel luftleerer, als irgend ein Vacuum, welches wir hier unten herstellen können. Denn da die Luft durch das Gewicht der darauf lagernden Atmosphäre zusammengedrückt wird, und die Dichtigkeit der Luft dieser drückenden Kraft proportional ist, so ergiebt sich durch Rechnung, dass die Luft in der Höhe von 7 engl. Meilen von der Erdoberfläche 4 mal dünner, in 14 Meilen Höhe 16 mal dünner, als an der Erdoberfläche ist, und dass sie in 21, 28, 35 Meilen Höhe bez. ungefähr 64, 256, 1024 mal dünner ist, in der Höhe von 70, 140, 210 Meilen etwa 1 000 000, 1 000 000 000 000, 1 000 000 000 000 000 000 mal dünner, u. s. f.

Die Hitze befördert den flüssigen Zustand der Körper ganz bedeutend; sie macht viele Körper flüssig, die es in der Kälte nicht sind, und macht zähe Flüssigkeiten, wie Oel, Balsam und Honig, leichtflüssig, vermindert also ihren Widerstand. Den Widerstand des Wassers verringert sie nicht bedeutend, wie es doch der Fall sein würde, wenn ein beträchtlicher Theil dieses Widerstandes von der Reibung oder der Zähigkeit seiner Theilchen herrührte. Deshalb stammt dieser Widerstand des Wassers hauptsächlich und fast ausschliesslich von der Trägheit der Substanz, und wenn der Himmelsraum die Dichtigkeit des Wassers besässe, würde er nicht viel weniger Wider-

Digitized by Google

stand haben, als das Wasser; wäre er so dicht wie Quecksilber, würde er nicht viel weniger Widerstand leisten, wie Quecksilber; wäre er absolut dicht, d. h. voll von Materie ohne Hohlräume, so würde er, mag diese Materie noch so dünn und leichtflüssig sein, noch einen grösseren Widerstand besitzen, als Quecksilber. Eine feste Kugel, die sich in einem solchen Medium um die dreifache[23]) Länge ihres Durchmessers fortbewegte, würde schon die Hälfte ihrer Geschwindigkeit verlieren, und eine nicht feste, wie es die Planeten sind, würde noch eher verzögert werden. Um also die regelmässige und andauernde Bewegung der Planeten und Kometen zu erklären, muss der Himmelsraum von jeglicher Materie leer angenommen werden, ausgenommen vielleicht gewisse äusserst dünne Dämpfe, Dünste oder Ausstrahlungen [Effluvia], die aus den Atmosphären der Erde, der Planeten und Kometen und einem so ausserordentlich dünnen ätherischen Medium aufsteigen, wie wir es oben beschrieben haben. Ein dichtes Fluidum kann nichts nützen zur Erklärung der Naturerscheinungen, da sich ohne ein solches die Bewegungen der Planeten und Kometen weit besser erklären. Es dient nur, die Bewegungen dieser grossen Körper zu stören und zu verzögern und das Wirken der Natur zu lähmen, und in den Poren der Körper die schwingenden Bewegungen ihrer Theilchen aufzuhalten, auf der die Wärme und die Wirksamkeit der Körper beruht. Wenn aber eine solche Flüssigkeit von keinem Nutzen ist und die Operationen der Natur hindert und schwächt, so ist kein Grund für deren Existenz vorhanden, und folglich muss sie verworfen werden. Damit ist auch die Hypothese beseitigt, dass das Licht in Druck oder Bewegung bestehe, die sich in solch einem Medium verbreiten.

Für die Verwerfung eines solchen Mediums haben wir auch die Autorität jener ältesten und berühmtesten Philosophen Griechenlands und Phöniziens für uns, welche den leeren Raum und die Atome und die Schwere der Atome zu den ersten Grundsätzen ihrer Philosophie machten und die Schwerkraft stillschweigend irgend einer anderen, von der dichten Materie verschiedenen Ursache zuschrieben. Spätere Philosophen verbannen die Betrachtung einer solchen Ursache aus der Naturphilosophie, ersinnen Hypothesen, um Alles mechanisch zu erklären, und weisen die anderen Ursachen der Metaphysik zu, während es doch die Hauptaufgabe der Naturphilosophie ist, aus den Erscheinungen ohne Hypothese Schlüsse zu ziehen

Digitized by Google

und die Ursachen aus ihren Wirkungen abzuleiten, bis die wahre erste Ursache erreicht ist, die sicherlich keine mechanische ist, und nicht nur den Mechanismus der Welt zu entwickeln, sondern hauptsächlich Fragen zu lösen, wie die folgenden:

Was erfüllt die von Materie fast leeren Räume, und woher kommt es, dass Sonne und Planeten einander anziehen, ohne dass eine dichte Materie sich zwischen ihnen befindet? Woher kommt es, dass die Natur nichts vergebens thut, und woher rührt all die Ordnung und Schönheit der Welt? Zu welchem Zwecke giebt es Kometen, und woher kommt es, dass die Planeten sich alle in concentrischen Kreisen nach einer und derselben Richtung bewegen, während die Kometen auf alle möglichen Weisen in sehr excentrischen Bahnen laufen, und was hindert die Fixsterne daran, dass sie nicht auf einander fallen? Wie wurden die Körper der Thiere so kunstvoll ersonnen und zu welchem Zwecke dienen ihre einzelnen Theile? Wurde das Auge hergestellt ohne Fertigkeit in der Optik und das Ohr ohne die Wissenschaft vom Schall? Wie geschieht es, dass die Bewegungen des Körpers dem Willen folgen, und woher rührt der Instinkt der Thiere? Ist nicht der Sitz der Empfindung beim Thiere da, wo die empfindende Substanz sich befindet, und wohin die wahrnehmbaren Bilder der Aussenwelt durch die Nerven und das Gehirn geleitet werden, um dort durch ihre unmittelbare Gegenwart bei dieser Substanz zur Wahrnehmung zu gelangen?

Und da dies Alles so wohl eingerichtet ist, *wird es nicht aus den Naturerscheinungen offenbar, dass es ein unkörperliches, lebendiges, intelligentes und allgegenwärtiges Wesen geben muss, welches im unendlichen Raume, gleichsam seinem Empfindungsorgane, alle Dinge in ihrem Innersten durchschaut und sie in unmittelbarer Gegenwart völlig begreift, Dinge, von denen in unser kleines Empfindungsorgan durch die Sinne nur die Bilder geleitet und von dem, was in uns empfindet und denkt, geschaut und betrachtet werden?* Und wenn uns auch jeder richtige, in dieser Philosophie gethane Schritt nicht unmittelbar zur Erkenntniss der ersten Ursache führt, bringt er uns doch dieser Erkenntniss näher und ist deshalb hoch zu schätzen.

Frage 29. Bestehen nicht die Lichtstrahlen aus sehr kleinen Körpern, die von den leuchtenden Substanzen aus-

Digitized by Google

gesandt werden? Denn solche Körper werden sich durch ein gleichförmiges Medium in geraden Linien fortbewegen, ohne in den Schatten auszubiegen, wie es eben die Natur der Lichtstrahlen ist. Sie werden auch verschiedener Eigenthümlichkeiten fähig und im Stande sein, dieselben unverändert beim Durchgange durch mehrere Media beizubehalten, was ebenfalls bei Lichtstrahlen der Fall ist. Durchsichtige Substanzen wirken aus der Entfernung auf die Lichtstrahlen, indem sie dieselben brechen, zurückwerfen und beugen, und die Strahlen wirken umgekehrt auf die Theilchen dieser Substanzen aus einiger Entfernung, indem sie sie erwärmen; diese Wirkung und Gegenwirkung aus der Entfernung gleichen doch ausserordentlich einer zwischen den Körpern wirkenden anziehenden Kraft. Wenn die Brechung durch eine Anziehung der Strahlen zu Stande kommt, so muss der Sinus des Einfalls in einem gegebenen Verhältnisse zum Sinus der Brechung stehen, wie wir in den »Principien der Philosophie« [I, prop. XCIV] gezeigt haben; und die Erfahrung bestätigt dies Gesetz. Lichtstrahlen, die aus Glas in den leeren Raum gehen, werden nach dem Glase hin gebogen, und wenn sie zu schief auf das Vacuum fallen, rückwärts in das Glas umgelenkt und total reflectirt; diese Reflexion kann nicht dem Widerstande des absolut leeren Raumes zugeschrieben werden, sondern muss die Folge einer anziehenden Kraft des Glases sein, welche die Strahlen bei ihrem Austritt in das Vacuum nach dem Glase zurückzieht. Denn wenn man die äussere Oberfläche des Glases mit Wasser, klarem Oel oder flüssigem, hellem Honig befeuchtet, so werden die sonst reflectirten Strahlen in das Wasser, das Oel oder den Honig eintreten und nicht reflectirt, bevor sie an der Grenzfläche ankommen und im Begriff sind, auszutreten. Wenn sie in das Wasser, das Oel oder den Honig übergehen, so geschieht dies, weil die Anziehung des Glases durch die entgegengesetzte Anziehung der Flüssigkeit im Gleichgewicht gehalten und fast unwirksam gemacht wird. Wenn sie aber in den leeren Raum austreten, welcher keine Attractionskraft besitzt, die der des Glases das Gleichgewicht hält, so wird die Anziehung des Glases sie entweder umbiegen und brechen, oder zurückziehen und reflectiren. Dies wird noch deutlicher, wenn man zwei Glasprismen auf einander legt, oder zwei Objectivgläser von grossen Teleskopen, von denen das eine eben, das andere ein wenig convex ist, und wenn man diese so zusammendrückt, dass sie sich

Digitized by Google

nicht vollkommen berühren, aber auch nicht zu weit von einander abstehen. Das Licht, welches auf die zweite Fläche des ersten Glases trifft, da, wo der Zwischenraum zwischen den Gläsern nicht über $\frac{1}{10000}$ Zoll beträgt, geht durch diese Fläche und durch den leeren Luftraum zwischen den Gläsern hindurch und tritt in das zweite Glas ein, wie dies in der 1., 4. und 8. Beobachtung des 1. Theils vom 2. Buche auseinandergesetzt worden ist. Nimmt man aber das zweite Glas weg, so wird das aus der zweiten Fläche des ersten Glases in die Luft oder den leeren Raum austretende Licht nicht weitergehen, sondern in das erste Glas zurückgehen und reflectirt werden. Es ist also durch die Kraft des ersten Glases zurückgezogen worden, denn etwas anderes ist nicht da, was es zurückbringen könnte.

Um alle Verschiedenheiten in den Farben und den Graden der Brechbarkeit hervorzubringen, ist nichts weiter erforderlich, als [die Annahme], dass die Lichtstrahlen aus Körperchen von verschiedener Grösse bestehen, von denen die kleinsten das Violett erzeugen, die schwächste und dunkelste der Farben, welche auch am leichtesten durch brechende Flächen vom geradlinigen Wege abgelenkt wird, und von denen die übrigen in dem Maasse, wie sie grösser und grösser werden, die stärkeren und leuchtenderen Farben, Blau, Grün, Gelb und Roth bilden und immer schwerer abgelenkt werden. Um die Lichtstrahlen in die Anwandlungen leichter Reflexion und leichten Durchganges zu versetzen, ist nichts weiter erforderlich, als dass sie kleine Körper sind, welche da, wo sie auftreffen, durch ihre anziehenden oder durch sonstige Kräfte Schwingungen erregen, welche schneller fortschreiten, als die Strahlen, sie allmählich überholen und sie zu grösserer oder geringerer Geschwindigkeit antreiben und sie dadurch in jene Anwandlungen versetzen[18]). Endlich sieht die ungewöhnliche Brechung im isländischen Krystall gar sehr danach aus, als käme sie durch eine Art anziehender Kraft zu Stande, welche nach gewissen Seiten hin sowohl den Strahlen, als den Krystalltheilchen innewohnt. Denn, wäre es nicht die Folge einer Art Disposition oder Kraft, die gewissen Seiten der Krystalltheilchen innewohnt, anderen nicht, und die die Strahlen nach der Seite der ungewöhnlichen Brechung hin neigt und biegt, so würden die senkrecht auf den Krystall fallenden Strahlen nicht nach dieser Seite hin mehr, als nach einer anderen gebrochen, sowohl bei ihrem Eintritte, als bei ihrem Austritte, dergestalt,

Digitized by Google

dass sie bei der entgegengesetzten Stellung der Seite der ungewöhnlichen Brechung gegen den zweiten Krystall senkrecht austreten, indem der Krystall auf die Strahlen einwirkt, nachdem sie ihn durchlaufen haben und in die Luft oder, wenn man will, in den leeren Raum hinausgehen. Und weil der Krystall durch diese Fähigkeit oder Kraft nur dann auf die Strahlen wirkt, wenn eine ihrer Seiten der ungewöhnlichen Brechung nach einer solchen Seite [im Krystall] gerichtet ist, so folgt daraus eine diesen Seiten der Strahlen innewohnende Kraft oder Fähigkeit, welche der des Krystalls ebenso entspricht oder mit ihr sympathisirt, wie die Pole zweier Magnete[24]) einander entsprechen. Und wie der Magnetismus verstärkt oder geschwächt werden kann und nur im Magnetstein und im Eisen gefunden wird, so ist diese Kraft, die senkrechten Strahlen zu brechen, grösser im isländischen Krystall, kleiner im Bergkrystall, und in anderen Körpern gar nicht vorhanden. Ich sage nicht, dass diese Kraft eine magnetische sei; sie scheint anderer Art zu sein; ich sage nur, was sie auch sein mag, dass es schwer zu begreifen ist, wie die Lichtstrahlen, wenn sie nicht aus Körperchen bestehen sollen, nach zwei Seiten hin eine dauernde Kraft besitzen können, die sie nach den anderen Seiten hin nicht haben, und zwar ohne Rücksicht auf ihre Lage im Raume oder in dem Medium, welches sie durchlaufen.

Was ich in dieser Frage unter einem leeren Raume verstehe und unter Anziehung zwischen Lichtstrahlen und Glas oder Krystall, kann aus dem in der 18., 19. und 20. Frage Gesagten verstanden werden[25]).

Frage 30. Lassen sich nicht dichte Körper und Licht gegenseitig in einander verwandeln, und empfangen nicht die Körper viel von ihrer Wirksamkeit durch die in ihre Zusammensetzung eintretenden Lichttheilchen? Alle festen Körper senden ja erhitzt Licht aus, solange sie genügend heiss sind, und das Licht seinerseits hält inne und haftet in den Körpern, wenn seine Strahlen auf die Körpertheilchen stossen, wie wir gezeigt haben. Ich kenne keine Substanz, die weniger geeignet wäre, Licht auszustrahlen, als das Wasser, und doch verwandelt es sich, wie Herr *Boyle* gezeigt hat, durch mehrfache Destillation in eine feste Erde, welche eine genügende Hitze auszuhalten im Stande ist und alsdann leuchtet, wie andere Körper.

Die Umwandlung von Körpermaterie in Licht und umge-

Digitized by Google

kehrt ist der Vernunft und der Natur, die sich an Verwandlungen dieser Art gleichsam zu ergötzen scheint, ganz angemessen. Die Natur verwandelt das Wasser, ein sehr flüssiges, geschmackloses Salz, durch Hitze in Dampf, der eine Art Luft ist, und durch Kälte in Eis, einen harten, durchsichtigen, zerbrechlichen, schmelzbaren Stein; dieser Stein kehrt durch Hitze, der Dampf durch Kälte in Wasser zurück. Erde wird durch Hitze in Feuer verwandelt und wird durch Kälte wieder zu Erde. Dichte Körper verdünnen sich durch Gährung zu verschiedenen Luftarten, die wiederum durch Gährung, bisweilen aber auch ohne dieselbe, zu dichten Körpern werden. Quecksilber erscheint bisweilen als flüssiges Metall, bisweilen als hartes, sprödes Metall, bisweilen in der Form eines ätzenden, durchsichtigen Salzes als Sublimat, bisweilen als geschmacklose, durchsichtige und flüchtige weisse Erde, Calomel [Mercurius dulcis] genannt, oder als rothe, undurchsichtige flüchtige Erde, Zinnober genannt, oder als rothes oder weisses Präcipitat, oder als flüssiges Salz; durch Destillation verwandelt es sich in Dampf, und im luftleeren Raume geschüttelt, leuchtet es, wie Feuer. Und nach allen diesen Umwandlungen kehrt es in seine ursprüngliche Gestalt als Quecksilber zurück. Eier wachsen von unmerkbaren Grössen an und wandeln sich in Thiere, Kaulquappen in Frösche, Maden in Fliegen. Alle Vögel, niederen Thiere und Fische, Insecten, Bäume und die anderen Pflanzen beziehen Nahrung und Wachsthum aus dem Wasser, aus wässerigen Lösungen und Salzen, und kehren durch Fäulniss wieder zu wässerigen Substanzen zurück. Wenn Wasser einige Tage offen an der Luft steht, so liefert es eine Tinktur, welche (ähnlich, wie das Malz) nach längerem Stehen einen Niederschlag und einen Spiritus giebt, aber vor ihrem Faulen zur Nahrung für Thiere und Pflanzen geeignet ist. Warum sollte nun nicht unter so verschiedenartigen und sonderbaren Umwandlungen die Natur auch Körper in Licht und Licht in Körper verwandeln?

Frage 31. Besitzen nicht die kleinen Partikeln der Körper gewisse Kräfte [Powers, Virtues or Forces], durch welche sie in die Ferne hin nicht nur auf die Lichtstrahlen einwirken, um sie zu reflectiren, zu brechen und zu beugen, sondern auch gegenseitig auf einander, wodurch sie einen grossen Theil der Naturerscheinungen hervorbringen? Denn es ist bekannt, dass die Körper durch die Anziehungen der Gravitation, des Magnetismus und der Elektricität auf einander

einwirken. Diese Beispiele, die uns Wesen und Lauf der Natur zeigen, machen es wahrscheinlich, dass es ausser den genannten noch andere anziehende Kräfte geben mag, denn die Natur behauptet immer Gleichförmigkeit und Uebereinstimmung mit sich selbst. Wie diese Anziehungen bewerkstelligt werden mögen, will ich hier gar nicht untersuchen. Was ich Anziehung nenne, kann durch Impulse oder auf anderem, mir unbekanntem Wege zu Stande kommen. Ich brauche das Wort nur, um im allgemeinen irgend eine Kraft zu bezeichnen, durch welche die Körper gegen einander hin streben, was auch die Ursache davon sein möge. Erst müssen wir aus den Naturerscheinungen lernen, welche Körper einander anziehen, und welches die Gesetze und die Eigenthümlichkeiten dieser Anziehung sind, ehe wir nach der Ursache fragen, durch welche die Anziehung bewirkt wird. Die Anziehungen der Schwerkraft, des Magnetismus und der Elektricität reichen bis in merkliche Entfernungen und sind in Folge dessen von aller Welts Augen beobachtet worden, aber es mag wohl andere geben, die nur bis in so kleine Entfernungen reichen, dass sie der Beobachtung bis jetzt entgangen sind; vielleicht reicht die elektrische Anziehung, selbst wenn sie nicht durch Reibung erregt ist, zu solchen kleinen Entfernungen [26]).

Ist nicht das Zerfliessen des Weinsteinsalzes die Folge einer Anziehung zwischen den Theilchen des Salzes und den Wasserpartikeln,die in Form von Dünsten in der Luft schwimmen? Woher soll es kommen, dass gewöhnliches Salz oder Salpeter oder Vitriol nicht zerfliessen, als daher, dass hier keine solche Anziehung vorhanden ist? Oder warum sollte Weinsteinsalz nicht über eine gewisse, zur Menge des Salzes in bestimmtem Verhältniss stehende Menge Wasser aus der Luft anziehen, als eben deshalb, weil nach seiner Sättigung mit Wasser es an weiterer Anziehungskraft gebricht? Woher sonst, als von dieser anziehenden Kraft, soll es kommen, dass Wasser, welches für sich allein bei einer ganz mässigen Wärme destillirt, aus dem Weinsteinsalze nicht ohne grosse Hitze destillirt werden kann? Geschieht es nicht durch dieselbe anziehende Kraft zwischen den Theilchen des Vitriolöls und denen des Wassers, dass das Vitriolöl eine grosse Menge Wasser aus der Luft an sich reisst und dies nicht mehr thut, wenn es damit gesättigt ist, und dass es beim Destilliren das Wasser nur schwer wieder von sich lässt? Und wenn Wasser und Vitriolöl

Digitized by Google

beim Eingiessen in das nämliche Gefäss bei ihrer Vermischung sehr heiss werden, deutet nicht diese Hitze auf eine starke Bewegung unter den Theilchen der beiden Flüssigkeiten? Und beweist nicht diese Bewegung, dass die Theile der beiden Flüssigkeiten bei ihrer Mischung mit Heftigkeit sich verbinden und mit beschleunigter Bewegung auf einander stürzen? Und wenn Scheidewasser oder Vitriolspiritus auf Eisenfeilspäne gegossen werden und diese unter grosser Hitze und Aufbrausen auflösen, rührt nicht diese Hitze und dieses Aufbrausen von einer heftigen Bewegung der Theilchen her, welche beweist, dass die sauren Flüssigkeitstheilchen mit Heftigkeit auf die Metalltheilchen stürzen und mit Gewalt in deren Poren eindringen, bis sie sich zwischen den äussersten Theilchen und der Hauptmasse des Metalls befinden, jene von der übrigen Masse abtrennen und in Freiheit setzen, so dass sie im Wasser aufgelöst schwimmen? Und wenn die Säuretheilchen, die für sich allein bei mässiger Hitze destilliren würden, sich von den Metalltheilchen nicht ohne gewaltige Hitze trennen, bestätigt dies nicht die zwischen beiden stattfindende Anziehung?

Wenn Vitriolspiritus, auf gewöhnliches Salz oder Salpeter gegossen, sich unter Aufbrausen mit ihm vereinigt, und alsdann bei der Destillation der Spiritus des Salzes oder Salpeters leichter übergeht, als zuvor, die sauren Theilchen des Vitrolspiritus aber zurückbleiben: beweist dies nicht, dass das feste Alkali des Salzes den sauren Vitriolspiritus kräftiger anzieht, als seinen eigenen, und, da es nicht im Stande ist, beide festzuhalten, den eigenen fahren lässt? Und wenn Vitriolöl vom gleichen Gewichte Salpeter abgezogen wird und aus diesen beiden Ingredienzien ein zusammengesetzter Salpeterspiritus überdestillirt, und wenn man zwei Theile dieses Spiritus auf einen Theil Nelkenöl oder Kümmelöl oder irgend ein schweres vegetabilisches oder animalisches Oel oder auf Terpentinöl, das man mit ein wenig Schwefelbalsam verdickt hat, giesst, und wenn dann die beiden Flüssigkeiten bei ihrer Mischung eine so grosse Hitze entwickeln, dass augenblicklich eine helle Flamme entsteht: beweist nicht diese gewaltige und plötzliche Hitze, dass die beiden Flüssigkeiten sich mit Heftigkeit vermischen, ihre Theilchen mit beschleunigter Bewegung auf einander stürzen und mit grösster Gewalt zusammenschlagen? Geschieht es nicht aus dem nämlichen Grunde, dass gut rectificirter Weinspiritus, auf jenen zusammengesetzten

Digitized by Google

Spiritus gegossen, sich plötzlich entzündet, und dass ein aus Schwefel, Salpeter und Weinstein zusammengesetztes Leuchtpulver eine plötzlichere und stärkere Explosion liefert, als Schiesspulver, weil die sauren Dünste des Schwefels und Salpeters mit solcher Gewalt gegen einander und gegen den Weinstein schiessen, dass sie beim Zusammenstoss das Ganze in Dampf und Flamme verwandeln? Wo die Auflösung langsam erfolgt, erzeugt sie ein schwaches Aufwallen und mässige Wärme, wo sie rasch vor sich geht, bewirkt sie stärkeres Aufbrausen mit grösserer Hitze, wo sie mit einem Male plötzlich erfolgt, geht dies Aufbrausen in eine plötzliche und heftige Explosion über, und die Hitze gleicht der von Feuer und Flamme. Als z. B. eine Drachme des oben erwähnten zusammengesetzten Salpeterspiritus im Vacuum auf eine halbe Drachme Kümmelöl gegossen wurde, erzeugte die Mischung sofort ein Aufblitzen, wie Schiesspulver, und zersprengte den luftleer gemachten Recipienten, der aus einem 6 Zoll weiten und 8 Zoll tiefen Glase bestand. Selbst der ganz grobe pulverisirte Schwefel wirkt, wenn er mit dem gleichen Gewicht Eisenfeilspäne und ein wenig Wasser zu einem Brei zusammengerührt wird, auf das Eisen ein, wird in 5—6 Stunden so heiss, dass man ihn nicht mehr anrühren kann, und liefert eine Flamme. Wenn wir im Vergleich zu diesen Experimenten die grosse Menge Schwefel bedenken, an der die Erde Ueberfluss hat, und die Wärme des Erdinnern, die heissen Quellen, die Vulkane, die schlagenden Wetter, die Erdbeben, die heissen erstickenden Ausströmungen, die Wirbelstürme und Wasserhosen, so können wir uns denken, dass in den Eingeweiden der Erde schwefelige Dünste in reichlicher Menge vorhanden und mit den Mineralien in Gährung begriffen sind, und dass sie bisweilen unter plötzlicher Entzündung und Explosion Feuer fangen, und, wenn sie in unterirdischen Höhlen eingepfercht sind, die Höhlen unter Erschütterung der Erde zersprengen, wie wenn eine Mine gesprengt wird. Alsdann erscheint der durch die Explosion erzeugte Dampf, der durch die Poren der Erde dringt, heiss und erstickend und erzeugt Stürme und Orkane, macht bisweilen das feste Land wanken und die See aufwallen und führt das Wasser in Tropfen fort, welches dann zufolge seiner Schwere in Wolkenbrüchen wieder herabfällt. Wenn die Erde trocken ist, steigen auch gewisse schwefelige Dünste in die Luft empor, welche dort mit salpetrigen Säuren gähren und

Digitized by Google

bisweilen, wenn sie Feuer fangen, Blitz und Donner und feurige Meteore erzeugen. Denn die Luft ist voll von sauren Dämpfen, welche solche Gährungen befördern, wie das Rosten von Eisen und Kupfer in der Luft zeigt, oder das Entzünden des Feuers durch Anblasen und das durch die Athmung unterhaltene Schlagen des Herzens. Nun sind die erwähnten Bewegungen so heftig, dass sie erkennen lassen, wie bei diesen Gährungen die fast in Ruhe befindlichen Körpertheilchen durch ein mächtiges Princip in neue Bewegungen versetzt werden, welches nur dann auf sie einwirkt, wenn sie einander nahe kommen, und welches die Ursache ist, dass sie mit grosser Heftigkeit auf einander schlagen und durch die Bewegung sich erhitzen und sich einander in Stücke zerschmettern und in Luft, Dampf und Flamme verschwinden.

Wenn zerfliessendes Weinsteinsalz auf die Lösung eines Metalls gegossen wird, schlägt es das Metall nieder und lässt es am Boden der Flüssigkeit in Gestalt von Schlamm sich setzen. Ist das nicht ein Beweis dafür, dass die sauren Theilchen stärker vom Weinstein, als vom Metalle angezogen werden und durch diese stärkere Anziehung vom Metall zum Weinstein übergehen? Ebenso, wenn eine Auflösung von Eisen in Scheidewasser den Galmei auflöst und das Eisen frei lässt, oder eine Kupferlösung ein eingetauchtes Stück Eisen auflöst und das Kupfer abgiebt, oder eine Silberlösung Kupfer auflöst und Silber abgiebt, oder eine Lösung von Quecksilber in Scheidewasser, auf Eisen, Kupfer, Zinn oder Blei gegossen, das Metall unter Abgabe von Quecksilber auflöst: beweist dies nicht, dass die sauren Theilchen des Scheidewassers durch den Galmei stärker angezogen werden, als durch das Eisen, durch das Eisen stärker, als durch Kupfer, durch Kupfer stärker, als durch Silber, und durch Eisen, Kupfer, Zinn und Blei kräftiger, als durch Quecksilber? Erfordert nicht Eisen aus demselben Grunde mehr Scheidewasser zu seiner Lösung, als Kupfer, und dieses mehr, als die anderen Metalle, und wird nicht aus demselben Grunde unter allen Metallen Eisen am leichtesten aufgelöst und rostet am meisten, und nächst dem Eisen das Kupfer?

Wenn Vitriolöl mit ein wenig Wasser gemischt wird oder Wasser aus der Luft aufnimmt, und dieses beim Destilliren nur schwer entweicht und dabei einen Theil des Vitriolöls in Form von Vitriolgeist mit sich fortführt, und dieser Spiritus, auf Eisen, Kupfer oder Weinstein gegossen, sich mit diesen

Digitized by Google

Körpern vereinigt und das Wasser entweichen lässt: zeigt dies nicht, dass der saure Spiritus vom Wasser, aber mehr noch von dem festen Körper angezogen wird und das Wasser wieder frei lässt, um sich noch inniger mit dem festen Körper zu verbinden? Geschieht es nicht aus demselben Grunde, dass Wasser und saurer Spiritus bei Vermischung mit Essig, Scheidewasser und Salzspiritus sich verbinden und vereinigt destilliren, dass aber, wenn das Lösungsmittel auf Weinstein, Blei, Eisen oder irgend einen festen Körper gegossen wird, den es zu lösen vermag, dass dann die Säure sich zufolge stärkerer Anziehung mit diesem Körper verbindet und das Wasser frei lässt? Ist es nicht eine gegenseitige Anziehung, wenn die Geister des Russes und Seesalzes sich vereinigen und die Theilchen des Ammoniaksalzes bilden, die, weil gröber und freier von Wasser, weniger flüchtig sind, als zuvor, dass die Ammoniaktheilchen bei der Sublimation Theilchen des Antimons mit sich fortführen, die allein nicht sublimiren, dass die Partikeln des Quecksilbers in Verbindung mit den sauren Theilchen des Salzspiritus Sublimat bilden und mit Schwefeltheilchen Zinnober zusammensetzen, dass die Partikeln von Weinspiritus und gut rectificirtem Harnspiritus sich vereinigen und nach Abgabe ihres Lösungswassers einen Körper von fester Consistenz bilden, dass beim Sublimiren von Zinnober mit Weinstein oder gebranntem Kalk der Schwefel in Folge der kräftigeren Anziehung der letzteren das Quecksilber fahren lässt und bei dem festen Körper verbleibt, dass beim Sublimiren von Quecksilbersublimat mit Antimon oder Spiessglanz der Salzspiritus das Quecksilber frei giebt und sich mit dem Antimonmetall, das ihn stärker anzieht, verbindet und bei ihm verbleibt, bis die Hitze so gross wird, dass sie beide verdampft werden und er das Metall in Form eines sehr feinen Salzes, Antimonbutter genannt, mit sich fortnimmt, obgleich doch der Salzspiritus für sich fast so flüssig ist, wie Wasser, und das Antimon für sich so fest, wie Blei?

Wenn Scheidewasser Silber löst, aber nicht Gold, und Königswasser Gold auflöst, aber nicht Silber: kann man da nicht sagen, Scheidewasser sei fein genug, Gold ebensowohl wie Silber zu durchdringen, besitze aber nicht die Attractionskraft zum Eindringen, und Königswasser sei fein genug, Silber ebenso gut wie Gold zu durchdringen, besitze aber nicht die Kraft, dort einzudringen? Denn Königswasser ist nichts anderes, als Scheidewasser, mit etwas Salzspiritus oder Ammoniak

Digitized by Google

[richtiger: Chlorammonium] vermischt; und selbst gewöhnliches Salz, obgleich ein grober Körper, liefert, in Scheidewasser gelöst, ein Lösungsmittel für Gold. Wenn also Salzsäure [Spirit of Salt] aus Scheidewasser [darin gelöstes] Silber niederschlägt: kommt dies nicht daher, dass sie das Scheidewasser anzieht und sich mit ihm verbindet und das Silber nicht anzieht oder vielleicht zurückstösst? Wenn Wasser das Antimon aus Antimonsublimat und Ammoniak oder aus Antimonbutter niederschlägt: geschieht dies nicht dadurch, dass es dasselbe auflöst, sich mit ihm mischt und das Ammoniak oder den Salzspiritus schwächt, das Antimon dagegen nicht anzieht oder vielleicht abstösst? Ist es nicht die Folge von mangelnder Anziehungskraft, dass Wasser- und Oeltheilchen, Quecksilber und Antimon, Blei und Eisen sich nicht vermischen, von schwacher Anziehung, dass Quecksilber und Kupfer sich schwer mischen, von starker, dass Quecksilber und Zinn, Antimon und Eisen, Wasser und Salze sich leicht mischen? Folgt nicht überhaupt aus dem nämlichen Principe, dass die Hitze homogene Körper vereinigt, heterogene trennt?

Wenn Arsenik mit Seife einen Regulus giebt und mit Quecksilbersublimat ein flüchtiges, schmelzbares, der Antimonbutter ähnliches Salz: beweist dies nicht, dass Arsenik, welches eine vollkommen flüchtige Substanz ist, doch aus festen und flüchtigen Theilchen besteht, die durch kräftige Anziehung so fest zusammenhängen, dass der flüchtige Theil nicht entweicht, ohne den festen mitzunehmen? Ebenso wenn Weingeist und Vitriolöl mit einander digerirt werden und bei der Destillation zwei brennende und flüchtige Sprite liefern, die sich nicht mit einander verbinden, während eine feste, schwarze Erde zurückbleibt: ergiebt sich daraus nicht, dass Vitriolöl aus flüchtigen und festen Theilen besteht, die durch Anziehung so fest mit einander verbunden sind, dass sie gemeinschaftlich in Gestalt eines flüchtigen, sauren, flüssigen Salzes entweichen, bis der Weingeist die flüchtigen Theile von den festen trennt? Und da Schwefelammonium [Oil of Sulphur per campanam] von derselben Natur ist, wie Vitriolöl: darf man daraus nicht schliessen, dass auch der Schwefel eine Mischung flüchtiger und fester Theilchen ist, die durch gegenseitige Anziehung so kräftig zusammenhängen, dass sie bei Sublimation gemeinschaftlich entweichen? Löst man Schwefelblumen in Terpentinöl[?] und destillirt die Lösung, so ergiebt sich, dass der Schwefel aus einem entzündlichen dicken Oele oder fettem

Digitized by Google

Bitumen, einem sauren Salze, einer sehr festen Erde und ein wenig Metall zusammengesetzt ist; die drei ersten Bestandtheile finden sich in fast gleicher, der vierte in so geringer Menge, dass er kaum in Betracht kommt. Das saure Salz, in Wasser gelöst, ist dasselbe, wie das Schwefelammonium, und da es in grosser Menge im Erdinnern vorkommt, besonders in den Markasiten[27]), so vereinigt es sich mit den anderen Bestandtheilen des Markasits, nämlich Erdharzen, Eisen, Kupfer und einer Erde, und bildet mit ihnen Alaun, Vitriol und Schwefel. Mit dem erdigen Bestandtheile allein giebt es Alaun, mit dem Metall allein oder mit dem Metall und der Erde zusammen bildet es den Vitriol, mit dem Erdharze und der Erde Schwefel. Daher kommt es auch, dass die Markasite so reich an jenen drei Mineralien sind. Ist es nun nicht eine Folge der gegenseitigen Anziehung zwischen den Bestandtheilen, dass sie fest zusammenhängen, um diese Mineralien zu bilden, und dass das Harz [Bitumen] die anderen Bestandtheile des Schwefels, die ohne dasselbe gar nicht sublimiren würden, mit fortnimmt? Und dieselbe Frage kann man in Betreff fast aller gröberen Körper der Natur stellen. Denn alle Theile von Thieren und Pflanzen sind, wie die Analyse zeigt, aus flüchtigen und festen, flüssigen und derben Substanzen zusammengesetzt, und ebenso auch die Salze und Mineralien, soweit Chemiker bis jetzt im Stande gewesen sind, ihre Zusammensetzung zu untersuchen.

Wenn Quecksilbersublimat nochmals mit frischem Quecksilber sublimirt wird und in Calomel übergeht, welcher eine weisse, geschmacklose, in Wasser wenig lösliche Erde darstellt, und dieser Calomel, abermals mit Salzsäure sublimirt, wieder zu Quecksilbersublimat wird, und wenn Metalle, von ein wenig Säure angegriffen, sich in Rost verwandeln, welcher eine geschmacklose, in Wasser unlösliche Erde ist, und wenn diese Erde, mit noch mehr Säure getränkt, zu einem metallischen Salze wird, und wenn gewisse Steine, wie Bleispat, durch geeignete Lösungsmittel zu Salzen werden: beweist nicht dies Alles, dass Salze durch Attraction vereinigte trockene Erden und wässerige Säuren sind, und dass der erdige Bestandtheil nur mit so viel Säure, dass er in Wasser löslich wird, zu einem Salze werden kann?

Entsteht nicht der scharfe und stechende Geschmack der Säuren aus der kräftigen Anziehung, durch welche die Säurepartikeln auf die Theilchen der Zunge stürzen und sie erregen?

Digitized by Google

Und wenn Metalle in scharfen Lösungsmitteln aufgelöst werden, und nun die Säuren in Verbindung mit den Metallen eine so verschiedene Wirkung äussern, dass die Verbindung jetzt einen ganz anderen, viel milderen, bisweilen sogar süssen Geschmack hat: rührt dies nicht daher, dass die Säuren an den metallischen Theilen fest hängen und demnach viel von ihrer Wirksamkeit verloren haben? Und wenn die Menge der Säure verhältnissmässig zu gering ist, um die Verbindung in Wasser löslich zu machen: wird sie nicht durch ihre feste Vereinigung mit dem Metalle unwirksam und verliert ihren Geschmack, und die Verbindung wird eine geschmacklose Erde? Denn solche Substanzen, die durch die Feuchtigkeit der Zunge nicht gelöst werden, wirken nicht auf unsern Geschmackssinn.

Wie die Schwerkraft das Meer rings um die dichteren und schwereren Theile des Erdkörpers fluthen lässt, so mag auch die Attractionskraft bewirken, dass die wässerige Säure die dichteren und compacteren Theilchen einer erdigen Substanz umfluthet, um Salzpartikeln mit ihnen zu bilden. Denn sonst würde die Säure nicht den Dienst eines Mediums zwischen der Erde und dem gewöhnlichen Wasser verrichten, um die Salze im Wasser löslich zu machen, noch würde Weinstein den gelösten Metallen und die Metalle dem Quecksilber so leicht die Säure entziehen. Wie nun auf der grossen Erdkugel und dem Meere die dichtesten Körper durch ihre Schwere zu Boden sinken und immer dem Erdmittelpunkte zustreben, so mag auch in den Partikeln eines Salzes die dichteste Substanz das Bestreben haben, sich immer dem Mittelpunkte des Theilchens zu nähern, so dass ein Salztheilchen einem Chaos vergleichbar ist, welches im Mittelpunkte dicht, hart, trocken und erdig, an der Oberfläche dünn, weich, feucht und wässerig ist. Daher scheint es auch zu kommen, dass die Salze von dauernder Natur sind, da sie nicht zerstört werden, ausser wenn ihnen ihre wässerigen Theile mit Gewalt entzogen werden, oder wenn diese durch die mässige Wärme der Fäulniss den centralen, erdigen Theil durchweichen, bis die Erde durch das Wasser gelöst und in kleinere Theilchen zerlegt wird, die wegen ihrer Kleinheit die faulige Masse in schwarzer Farbe erscheinen lassen. Daher mag es auch kommen, dass die Theilchen von Thieren und Pflanzen ihre verschiedenen Gestalten bewahren und die Nahrung in ihre eigene Substanz verwandeln, indem die weichen und feuchten Nährstoffe durch mässige Wärme und Bewegung leicht die Anordnung ihrer

Theile ändern, bis sie der dichten, harten, trocknen und dauerhaften erdigen Substanz im Mittelpunkte jeder Partikel ähnlich werden. Wenn aber die Nahrung zur Assimilation ungeeignet ist oder die im Mittelpunkte befindliche Erde zu schwach, um sie umzuwandeln, so endet die Bewegung in Verwirrung, Fäulniss und Tod.

Wenn eine sehr kleine Menge eines Salzes oder Vitriols in einer grossen Menge Wasser gelöst wird, so werden die Salz- oder Vitrioltheilchen, obgleich sie specifisch schwerer, als Wasser sind, nicht zu Boden sinken, sondern sich gleichmässig im ganzen Wasser verbreiten, so dass sie es in der Höhe, wie in der Tiefe salzig machen. Schliesst das nicht in sich, dass die Salz- oder Vitrioltheilchen von einander zurückweichen und das Bestreben haben, sich auszubreiten und, soweit es die Wassermenge, in der sie schwimmen, gestattet, aus einander zu gehen? Und lässt dieses Bestreben nicht auf eine abstossende Kraft schliessen, in Folge deren sie einander fliehen, oder wenigstens, dass sie das Wasser kräftiger anziehen, als einander selbst? Denn ebenso wie Alles im Wasser emporsteigt, was durch die Schwerkraft der Erde weniger angezogen wird, als das Wasser, ebenso müssen alle im Wasser schwimmenden Salzpartikeln, die von irgend einem Salztheilchen weniger stark angezogen werden, als vom Wasser, von diesem Theilchen zurückweichen und dem stärker angezogenen Wasser Platz machen.

Wenn man eine salzhaltige Flüssigkeit bis auf ein Häutchen abdampft und erkalten lässt, so schiesst das Salz in regelmässigen Figuren an; dies beweist, dass die Salztheilchen schon vorher in der Flüssigkeit in gleichen Abständen in Reih und Glied schwammen und mit irgend einer Kraft auf einander einwirkten, die bei gleichen Abständen gleich, bei ungleichen verschieden war. Denn zufolge einer derartigen Kraft werden sie sich gleichmässig anordnen, ohne eine solche aber unregelmässig umherschwimmen und ungeordnet zusammenkommen. Und weil die Theilchen eines isländischen Krystalls sämmtlich in gleichem Sinne auf die Lichtstrahlen wirken, um die ungewöhnliche Brechung hervorzubringen: kann man da nicht annehmen, dass bei der Bildung des Krystalls die Theilchen sich nicht bloss in Reihe und Glied ordneten, um in regelmässigen Figuren anzuschiessen, sondern dass sie auch durch eine gewisse polare Eigenschaft ihre entsprechenden Seiten in gleicher Weise richteten?

Digitized by Google

Die Theile aller homogenen harten Körper, die sich vollkommen berühren, hängen mit stärkster Kraft an einander. Um zu erklären, wie dies möglich ist, haben Einige mit Häkchen versehene Atome erfunden, womit sie aus dem, was sie erst beweisen wollen, einen Schluss ziehen; Andere sagen, die Körper seien durch die Ruhe fest verbunden, d. h. durch eine verborgene Eigenschaft, oder eigentlich durch gar nichts, wieder Andere, sie hängen zusammen durch zusammenwirkende Bewegungen, d. h. durch relative Ruhe. Ich ziehe es vor, aus ihrer Cohäsion zu schliessen, dass die Theilchen einander mit einer gewissen Kraft anziehen, welche bei unmittelbarer Berührung ausserordentlich stark ist, bei geringen Abständen die erwähnten chemischen Vorgänge verursacht, deren Wirkung sich aber nicht weit von den Theilchen fort erstreckt.

Alle Körper scheinen aus harten Partikeln zu bestehen, denn sonst würden Flüssigkeiten nicht erstarren, wie Wasser, Oel, Essig, Vitriolöl oder -spiritus durch Gefrieren, Quecksilber durch Bleidämpfe, Salpeterspiritus und Quecksilber durch Auflösung des Quecksilbers und Abdampfen des Schleimes, Weingeist und Laugensalz [Spiritus urinae] durch Entwässerung und Mischung derselben, Laugensalz und Salzspiritus, wenn sie bei Darstellung des Ammoniaks gemeinschaftlich destillirt werden. Selbst die Lichtstrahlen scheinen harte Körperchen zu sein, denn sonst würden sie nicht nach verschiedenen Seiten hin verschiedene Eigenschaften behaupten. Man kann also die Härte als eine Eigenschaft aller einfachen Materie betrachten; dies scheint wenigstens ebenso sicher erwiesen, wie die allgemeine Undurchdringlichkeit der Materie. Alle Körper sind, soweit die Erfahrung reicht, entweder hart oder können gehärtet werden, und für die Undurchdringlichkeit haben wir keinen anderen Beweis, als eine grosse Erfahrung, die durch keine Thatsache eine Ausnahme erleidet. Wenn nun zusammengesetzte Körper so hart sind, wie wir in der That viele kennen, und doch auch sehr porös und aus Theilchen zusammengesetzt, die einfach neben einander liegen, so müssen die einfachen Partikeln, die keine Poren mehr enthalten und noch nie weiter getheilt worden sind, noch viel härter sein. Solche zusammengehäufte harte Theilchen können sich einander nur in ganz wenigen Punkten berühren und müssen deshalb durch eine viel geringere Kraft getrennt werden können, als zum Zerbrechen einer festen Partikel erforderlich ist, deren Theilchen sich auf dem ganzen zwischen-

Digitized by Google

liegenden Raume berühren, ohne dass ihre Cohäsion durch irgend welche Poren oder Zwischenräume geschwächt wird. Wie solche ganz harte Partikeln, die, einfach neben einander gelagert, sich nur in wenigen Punkten berühren, zusammenhalten können, und zwar so fest, wie es der Fall ist, das ist ohne Zuhilfenahme einer Ursache, die ihre Anziehung und ihren Druck gegen einander veranlasst, schwer zu begreifen.

Zu demselben Schlusse gelange ich auch durch das Zusammenhängen zweier geschliffener Marmorplatten im luftleeren Raume und durch die Thatsache, dass das Quecksilber im Barometer in einer Höhe von 50, 60 oder 70 Zollen oder noch darüber stehen bleibt, wenn es nur gut luftleer gemacht und sorgfältig gefüllt war, so dass seine Theilchen überall gut unter einander und am Glasrohre anliegen. Die Atmosphäre drückt durch ihr Gewicht das Quecksilber im Glase bis zu 29 oder 30 Zoll Höhe empor, und ein gewisses anderes Agens hebt dasselbe noch höher, nicht durch Hineindrücken in das Glas, sondern indem es bewirkt, dass die Theilchen sich an das Glas anhängen und an einander hängen; denn bei einer durch Blasen im Quecksilber oder durch Schütteln der Röhre gestörten Continuität der Theilchen sinkt das ganze Quecksilber zur Höhe von 29 oder 30 Zoll zurück.

Von derselben Art, wie diese Versuche, sind auch die folgenden. Wenn zwei ebene, geschliffene Glasplatten (z. B. zwei Stücke geschliffenen Spiegelglases) so zusammengelegt werden, dass ihre Flächen parallel und sehr wenig von einander entfernt sind, und dann ihre unteren Kanten in Wasser getaucht werden, so wird das Wasser zwischen ihnen emporsteigen. Je geringer der Abstand der Glasplatten ist, desto grösser ist die Höhe, zu der das Wasser aufsteigt; wenn der Abstand etwa $\frac{1}{100}$ Zoll beträgt, steigt das Wasser etwa 1 Zoll hoch, und wenn der Abstand grösser oder kleiner ist, wird die Höhe demselben sehr nahe umgekehrt proportional sein. Denn die anziehende Kraft der Gläser ist dieselbe bei grösserem, wie bei kleinerem Abstande, und das Gewicht des emporgehobenen Wassers ist dasselbe, wenn seine Höhe dem Abstande der Gläser umgekehrt proportional ist. Ebenso steigt Wasser zwischen zwei ebenen, polirten Marmorplatten in die Höhe, wenn ihre geschliffenen Seiten parallel und in sehr kleiner Entfernung von einander stehen. Wenn enge Glasröhren mit dem einen Ende in ruhiges Wasser getaucht werden, so steigt das Wasser in ihnen empor, und die Höhe

Digitized by Google

welche es erreicht, wird dem Durchmesser des leeren Raumes in der Röhre umgekehrt proportional und ungefähr dieselbe sein, wie zwischen zwei Glasflächen, wenn der Halbmesser des Hohlraumes der Röhre dem Abstande der Glasplatten gleich ist. Diese Versuche ergeben im luftleeren Raume denselben Erfolg, wie in freier Luft (wie dies vor der Royal Society geprüft worden ist), sind daher nicht durch das Gewicht oder den Druck der Atmosphäre beeinflusst.

Wird eine lange Glasröhre mit gesiebter Asche, die man gut hineinpresst, gefüllt und das eine Ende der Röhre in stehendes Wasser getaucht, so steigt das Wasser langsam in der Asche empor, so dass es nach einer oder zwei Wochen im Glase eine Höhe von 30—40 Zoll über dem ruhigen Wasser erreicht. Dabei steigt das Wasser zu dieser Höhe lediglich durch die Thätigkeit derjenigen Aschentheilchen, die sich gerade an der Oberfläche des erhobenen Wassers befinden, da die bereits im Wasser befindlichen Theilchen es ebensowohl aufwärts, wie abwärts anziehen oder abstossen. Daher ist die Wirkung jener Partikeln sehr kräftig. Da aber die Theilchen der Asche nicht so dicht sind, noch so fest an einander liegen, wie die des Glases, so ist ihre Wirkung nicht so kräftig, wie die des Glases, welches Quecksilber bis zu 60 oder 70 Zoll emporgehoben hält und mithin mit einer Kraft wirkt, welche Wasser bis zu einer Höhe von über 60 Fuss heben würde.

Nach demselben Principe saugt ein Schwamm Wasser ein, und die Drüsen im thierischen Körper saugen je nach ihrer Natur und Disposition verschiedene Säfte aus dem Blute auf.

Wenn man zwei geschliffene Glasplatten von 3 oder 4 Zoll Breite und 20—25 Zoll Länge so hinlegt, dass die eine horizontal, die andere auf der ersten so liegt, dass sie sie an einer ihrer Kanten berührt und mit ihr einen Winkel von 10—15 Minuten bildet, und wenn man diese Platten zuvor an ihren inneren Seiten mit einem in Orangenöl oder Terpentinspiritus getauchten reinen Tuche befeuchtet und dann einen oder zwei Tropfen davon auf das untere Glas am anderen Ende fallen lässt, so wird, sobald das obere Glas in der angegebenen Weise auf das untere gelegt wird und einen Winkel von 10—15′ mit ihm bildet, der Tropfen beginnen, sich nach den zusammenstossenden Kanten der Gläser hin zu bewegen, und zwar in beschleunigter Bewegung, bis er am Vereinigungspunkte ankommt. Denn die Gläser üben eine Anziehung auf

Digitized by Google

den Tropfen aus und bewirken, dass er dahin geht, wohin diese Anziehungen neigen. Und wenn man, während der Tropfen in Bewegung ist, die zusammenstossenden Enden der Gläser von einander abhebt, so wird der Tropfen zwischen den Gläsern aufsteigen, also angezogen werden. Hebt man die Gläser immer mehr von einander ab, so steigt der Tropfen immer langsamer und bleibt dann in Ruhe, weil er durch sein Gewicht ebenso viel nach unten gezogen wird, wie durch die Anziehung nach oben. Darnach kann man die Kraft beurtheilen, mit welcher in jeder Entfernung von der Vereinigungsstelle der Tropfen angezogen wird.

Durch mehrere Versuche dieser Art (welche Herr *Hawksby* angestellt hat) hat sich nun ergeben, dass die Anziehung fast genau umgekehrt proportional dem Quadrate der Entfernung zwischen der Mitte des Tropfens und der Vereinigungsstelle der Gläser ist, nämlich einmal umgekehrt proportional, weil der Tropfen sich ausbreitet und jedes der Gläser an einem grösseren Flächenstücke berührt, und noch einmal umgekehrt proportional, weil die Anziehungen schon bei gleichbleibender Grösse der anziehenden Flächen stärker werden; die Anziehung ist daher bei derselben Grösse der anziehenden Fläche dem Abstande der Gläser umgekehrt proportional und muss ausserordentlich stark sein, wo dieser Abstand ausserordentlich klein ist. Nach der Tabelle im 2. Theile des II. Buchs, wo die Dicken farbiger Wasserblättchen zwischen zwei Gläsern angegeben sind, ist die Dicke des Blättchens da, wo es ganz schwarz erscheint, $\frac{3}{8}$ von einem Milliontel Zoll; und da, wo das Orangenöl zwischen den Gläsern diese Dicke besitzt, scheint die nach der vorigen Regel berechnete Attraction so stark zu sein, dass sie in einem Kreise von 1 Zoll Durchmesser einem Wassercylinder von 1 Zoll Durchmesser und 2—3 Achtelmeilen [Furlongs] Länge[28]) das Gleichgewicht hält; und wo das Oel von geringerer Dicke ist, mag die Anziehung verhältnissmässig stärker sein und immerfort wachsen, solange die Dicke die Grösse einer einzelnen Oelpartikel nicht überschreitet. Es giebt also Kräfte [Agents] in der Natur, welche den Körpertheilchen durch kräftige Anziehung Zusammenhang verleihen, und es ist die Aufgabe der experimentellen Naturforschung, diese aufzufinden.

Nun können die kleinsten Theilchen der Materie durch kräftigste Anziehung zusammenhängen und grössere Partikeln von schwächerer Kraft bilden; von diesen können wieder viele

Digitized by Google

zusammenhängen und grössere Theilchen bilden, deren Kraft noch schwächer ist, und so weiter in verschiedenen Aufeinanderfolgen, bis die Progression mit den grössten Partikeln endet, von denen die chemischen Operationen und die Farben der natürlichen Körper abhängen und die durch ihre Cohäsion Körper von wahrnehmbarer Grösse bilden. Wenn der Körper compact ist und bei einem Drucke sich biegt und inwendig nachgiebt, ohne etwas von seinen Theilchen entweichen zu lassen, so ist er hart und elastisch und kehrt mit einer Kraft, die aus der gegenseitigen Anziehung seiner Theilchen entspringt, zu seiner früheren Gestalt zurück. Wenn die Theilchen über einander hingleiten, ist der Körper geschmeidig oder weich; wenn die Theilchen leicht von einander weichen und eine geeignete Grösse besitzen, um durch Hitze bewegt zu werden, und die Hitze gross genug ist, sie in dieser Bewegung zu erhalten, so ist der Körper flüssig, und wenn er geeignet ist, sich an andere Körper anzuhängen, ist er feucht. Die Tropfen jeder Flüssigkeit streben zufolge der gegenseitigen Anziehung ihrer Theile, eine runde Figur zu bilden, wie die Erdkugel und das Meer durch die gegenseitige Anziehung der Schwerkraft eine runde Figur bilden.

Weil in Säuren gelöste Metalle nur eine kleine Menge der Säure anziehen, so kann ihre Attractionskraft nur bis in kleine Entfernungen reichen. Und wie in der Algebra da, wo die positiven Grössen aufhören und verschwinden, die negativen beginnen, so muss in der Mechanik da, wo die Attraction aufhört, eine abstossende Kraft nachfolgen. Dass dies wirklich der Fall ist, scheint aus der Zurückwerfung und Beugung der Lichtstrahlen zu folgen; denn die Strahlen werden in beiden Fällen ohne unmittelbare Berührung mit den reflectirenden und beugenden Körpern von diesen zurückgestossen. Auch aus der Emission des Lichts scheint eine solche Kraft zu folgen, da der Strahl, sobald er durch die zitternde Bewegung der Theilchen von dem leuchtenden Körper losgekommen und ausser dem Bereich der Anziehung ist, mit ausserordentlicher Geschwindigkeit fortgestossen wird. Denn die Kraft, welche genügt, ihn in die Reflexion zurückzuwerfen, kann auch ausreichen, ihn hinauszutreiben. Auch aus der Erzeugung von Luft und Dampf scheint diese Kraft zu folgen; wenn die Theilchen durch Hitze oder Gährung von dem Körper ausgestossen werden und aus dem Anziehungsbereiche des Körpers kommen, weichen sie mit grosser Stärke von ihm und

Digitized by Google

auch von einander zurück und streben nach einer Entfernung, dass sie manchmal über eine Million mal so viel Raum einnehmen, als zuvor in der Gestalt eines dichten Körpers. Diese ungeheuren Zusammenziehungen und Ausdehnungen können nicht verstanden werden, wenn man sich die Luftpartikeln federkräftig und ästig, oder wie Reifen zusammengerollt vorstellt, oder auf sonstige Weise, sondern nur durch eine abstossende Kraft. Die Flüssigkeitstheilchen, welche nicht so fest zusammenhängen und welche so klein sind, dass sie jenen Bewegungen, von denen der flüssige Zustand abhängt, leicht zugänglich sind, lassen sich ganz leicht von einander trennen und in Dampf verwandeln; sie sind nach der Sprache der Chemiker flüchtig, verdunsten in mässiger Hitze und verdichten sich wieder durch Kälte. Diejenigen Körpertheilchen aber, welche grösser und dadurch für Bewegung weniger empfänglich sind und mit stärkerer Attraction zusammenhängen, können nur durch grössere Hitze oder vielleicht nicht ohne Gährung getrennt werden. Diese letzteren nennen die Chemiker feste Körper, und wenn sie durch Gährung verflüchtigt sind, bilden sie die wahre permanente Luft; die Partikeln derselben stossen sich mit grösster Kraft ab und werden auch nur sehr schwer zusammengebracht, hängen aber bei wirklicher Berührung sehr fest zusammen. Und weil die Theilchen der permanenten Luft grösser und aus dichterer Substanz entstanden sind, als die der Dämpfe, deshalb wiegt auch die wahre Luft mehr als der Dampf, und eine feuchte Atmosphäre ist (bei gleicher Menge) leichter als trockene. Durch die nämliche abstossende Kraft scheint es sich zu erklären, dass Fliegen auf dem Wasser laufen, ohne dass ihre Füsse nass werden, und dass die Objectivgläser langer Teleskope auf einander liegen, ohne sich zu berühren, und dass man trockene Pulver schwer zur Berührung bringt, so dass sie an einander haften, ausser wenn man sie schmilzt oder mit Wasser befeuchtet, dessen Ausdünstung sie zusammenführt, dass endlich zwei geschliffene Marmorplatten, die bei unmittelbarer Berührung an einander haften, doch nur schwer so dicht an einander zu bringen sind, dass sie zusammenhängen.

So ist sich die Natur immer gleich und einfach [in ihren Mitteln], indem sie alle die grossen Bewegungen der himmlischen Körper durch die zwischen ihnen herrschende Gravitation, ebenso wie fast alle die kleinen Bewegungen der Partikeln, durch gewisse andere, zwischen diesen Theilchen

Digitized by Google

wirkende, anziehende und abstossende Kräfte hervorruft. Das Gesetz der Trägheit ist ein passives Princip, nach welchem die Körper in ihrer Bewegung oder Ruhe beharren, je nach der auf sie einwirkenden Kraft Bewegung empfangen und Widerstand leisten in dem Maasse, wie ihnen andere Körper widerstehen. Durch dieses Princip allein würde es niemals Bewegung in der Welt geben. Es war noch ein anderes Princip nothwendig, um die Körper in Bewegung zu setzen, und noch ein anderes, um sie in Bewegung zu erhalten. Denn aus der verschiedenen Art, wie sich zwei Bewegungen zusammensetzen, ist klar, dass nicht immer dieselbe Quantität von Bewegung in der Welt vorhanden ist. Wenn z. B. zwei durch einen dünnen Stab verbundene Kugeln sich mit gleichförmiger Bewegung um ihren gemeinsamen Schwerpunkt umschwingen, während dieser Schwerpunkt auf einer geraden Linie in der Ebene dieser Kreisbewegung gleichmässig fortrückt, so ist die Summe der Bewegungen der beiden Kugeln, so oft sie in der vom Schwerpunkte beschriebenen Geraden sich befinden, grösser, als wenn sie in einer dazu senkrechten Linie sind. Aus diesem Beispiele erhellt, dass Bewegung gewonnen oder verloren werden kann. Aber wegen der Zähigkeit der Flüssigkeiten und der Reibung ihrer Theilchen und der schwachen Elasticität der festen Körper wird viel mehr Bewegung verloren, als gewonnen, so dass sie beständig in Abnahme begriffen ist. Denn Körper, die absolut hart sind oder so weich, dass sie aller Elasticität entbehren, werden nicht von einander zurückprallen; ihre Undurchdringlichkeit hält nur ihre Bewegung auf. Wenn zwei gleiche Körper im luftleeren Raume direct zusammenstossen, so werden sie zufolge der Bewegungsgesetze alle ihre Bewegung verlieren und zur Ruhe kommen, ausser wenn sie elastisch sind und von ihrem Anprall neue Bewegung erhalten. Wenn sie so viel Elasticität besitzen, dass sie mit $\frac{1}{4}$ oder $\frac{1}{2}$ oder $\frac{3}{4}$ der Kraft zurückspringen, mit der sie auf einander trafen, so werden sie $\frac{3}{4}$ oder $\frac{1}{2}$ oder $\frac{1}{4}$ ihrer Bewegung verlieren. Man kann dies durch Versuche mit zwei gleichen Pendeln prüfen, die man aus gleicher Höhe gegen einander fallen lässt. Sind dieselben von Blei oder weichem Thon, so werden sie alle oder fast alle Bewegung verlieren, sind sie elastisch, so werden sie alle Bewegung ausser derjenigen verlieren, die sie durch ihre Elasticität wieder erhalten. Wenn man gesagt hat, die Körper könnten keine Bewegung verlieren, die sie nicht anderen mittheilten,

Digitized by Google

so folgt daraus, dass sie im Vacuum keine Bewegung verlieren, sondern beim Aufeinandertreffen weiter gehen und einander durchdringen müssten. Wenn drei gleiche runde Gefässe, das eine mit Wasser, das zweite mit Oel, das dritte mit geschmolzenem Pech gefüllt und die Flüssigkeiten umgeschüttelt werden, wie wenn man sie in wirbelnde Bewegung versetzen wollte, so wird das Pech durch seine Zähigkeit seine Bewegung rasch verlieren, das weniger zähe Oel wird sie länger, und das noch weniger zähe Wasser am längsten behalten, aber doch auch in kurzer Zeit verlieren. Darnach ist leicht einzusehen, dass, wenn es mehrere zusammenhängende Wirbel von Pech gäbe, jeder so gross, wie sie nach der Annahme mancher Naturforscher sich um die Sonne und die Fixsterne drehen, dass doch diese und alle ihre Theile durch ihre Zähigkeit und Steifheit einander ihre Bewegung mittheilen würden, bis sie alle zu vollkommener Ruhe unter einander kommen würden. Wirbel von Oel oder Wasser oder noch flüssigerer Substanz könnten länger in Bewegung verbleiben, wenn aber diese Masse nicht jeglicher Zähigkeit und Reibung der Theilchen und Uebertragung der Bewegung entbehrt (was man nicht wohl annehmen kann), so wird die Bewegung beständig abnehmen. Da wir also sehen, dass die verschiedenen Bewegungen, die wir in der Welt vorfinden, in stetiger Abnahme begriffen sind, so liegt die Nothwendigkeit vor, sie durch thätige Principe zu erhalten und zu ergänzen, wie ein solches die Ursache der Schwerkraft ist, durch welche die Planeten und Kometen in der Bewegung auf ihren Bahnen erhalten werden und die Körper ihre grosse Fallgeschwindigkeit erreichen, ferner die Ursache der Gährung, welche Herz und Blut der Thiere in immerwährender Bewegung und Wärme, das Erdinnere beständig warm, an manchen Stellen sogar sehr heiss erhält, durch welche die Körper brennen und leuchten, die Berge in Feuer entflammen, die Höhlen in der Erde aufgetrieben werden und die Sonne beständig auf's Heftigste glüht und leuchtet und mit ihrem Lichte Alles erwärmt. Denn wir treffen wenig Wärme in der Welt an, die nicht diesen activen Principien zu verdanken ist. Ohne sie würden die Körper der Erde, der Planeten und Kometen, der Sonne und Alles auf ihnen in Kälte erstarren und unthätige Massen werden, Verwesung und Zeugung, Vegetation und Leben würden aufhören, und Planeten und Kometen könnten nicht in ihren Bahnen verharren.

Digitized by Google

Nach allen diesen Betrachtungen ist es mir wahrscheinlich, dass Gott im Anfange der Dinge die Materie in massiven, festen, harten, undurchdringlichen und beweglichen Partikeln erschuf, von solcher Grösse und Gestalt, mit solchen Eigenschaften und in solchem Verhältniss zum Raume, wie sie zu dem Endzwecke führten, für den er sie gebildet hatte, dass ferner diese primitiven Theilchen, weil sie fest sind, unvergleichlich härter sind, als irgend welche aus ihnen zusammengesetzte poröse Körper, ja so hart, dass sie nimmer verderben oder zerbrechen können, denn keine Macht von gewöhnlicher Art würde im Stande sein, das zu zertheilen, was Gott selbst bei der ersten Schöpfung als Ganzes erschuf. Solange die Theilchen als Ganzes bestehen bleiben, können sie zu allen Zeiten Körper einer und derselben Natur und Bauart zusammensetzen; sollten sie aber abgenutzt werden oder zerbrechen, so würde sich die Natur der von ihnen abhängenden Körper verändern. Wasser und Erde, zusammengesetzt aus alten abgenutzten Partikeln und Bruchstücken von solchen, besässen nicht dieselbe Natur und Textur, wie Wasser und Erde, die beim Anbeginn der Dinge aus ganzen Partikeln zusammengesetzt wären. Damit also die Natur von beständiger Dauer sei, ist der Wandel der körperlichen Dinge ausschliesslich in die verschiedenen Trennungen, neuen Vereinigungen und Bewegungen dieser permanenten Theilchen zu verlegen, da zusammengesetzte Körper dem Zerbrechen ausgesetzt sind, nicht etwa mitten durch die festen Theilchen, sondern da, wo diese an einander gelagert sind und sich nur in wenigen Punkten berühren.

Es scheint mir ferner, dass diese Partikeln nicht nur Trägheit besitzen und damit den aus dieser Kraft ganz natürlich entspringenden passiven Bewegungsgesetzen unterliegen, sondern dass sie auch von activen Principien, wie die Schwerkraft oder die Ursache der Gährung und der Cohäsion der Körper sind, bewegt werden. Diese Principien betrachte ich nicht als verborgene Qualitäten, die etwa aus der specifischen Gestalt der Dinge hervorgehen sollen, sondern als allgemeine Naturgesetze, nach denen die Dinge gebildet sind. Die Wahrheit dieser Principien wird uns aus den Erscheinungen deutlich, wenn auch ihre Ursachen bis jetzt noch nicht entdeckt sind; denn dies sind bemerkbare Eigenschaften, nur ihre Ursachen sind verborgen. Auch die Aristoteliker geben den Namen einer *Qualitas occulta* nicht den bemerkbaren Eigen-

Digitized by Google

schaften, sondern nur denen, die nach ihrer Annahme in den Körpern verborgen lagen und die unbekannten Ursachen sichtbarer Wirkungen darstellten. Solche würden z. B. die Ursachen der Schwerkraft, der magnetischen und elektrischen Anziehung und die Gährung sein, wenn wir annehmen würden, dass diese Kräfte oder Wirkungen aus uns unbekannten Eigenschaften entsprängen, die wir nicht entdecken und klarstellen können. Solche verborgene Eigenschaften bilden ein Hemmniss für den Fortschritt der Naturerkenntniss und sind deshalb in den letzten Jahren verworfen worden. Wenn man uns sagt, jede Species der Dinge sei mit einer specifischen verborgenen Eigenschaft begabt, durch welche sie wirkt und sichtbare Effecte hervorbringt, so ist damit gar nichts gesagt; wenn man aber aus den Erscheinungen zwei oder drei allgemeine Principien der Bewegung herleitet und dann angiebt, wie aus diesen klaren Principien die Eigenschaften und Wirkungen aller körperlichen Dinge folgen, so würde dies ein grosser Fortschritt in der Naturforschung sein, wenn auch die Ursachen dieser Principien noch nicht entdeckt wären. Deshalb trage ich kein Bedenken, die oben erwähnten Principien der Bewegung, welche eine sehr allgemeine Ausdehnung besitzen, aufzustellen und die Entdeckung ihrer Ursachen Anderen anheimzugeben.

Mit Hülfe dieser Principien scheinen nun alle materiellen Dinge aus den erwähnten harten und festen Theilchen zusammengesetzt und bei der Schöpfung nach dem Plane eines intelligenten Wesens verschiedentlich angeordnet zu sein; denn ihm, der sie schuf, ziemte es auch, sie zu ordnen. Und wenn er dies gethan hat, so ist es unphilosophisch, nach einem anderen Ursprunge der Welt zu suchen oder zu behaupten, sie sei durch die blossen Naturgesetze aus einem Chaos entstanden, wenn sie auch, einmal gebildet, nach diesem Gesetze lange Zeit fortbestehen kann. Denn während allerdings die Kometen sich in sehr excentrischen Bahnen aller möglichen Lagen bewegen, konnte doch niemals ein blinder Zufall bewirken, dass alle die Planeten nach einer und derselben Richtung in concentrischen Kreisen gehen, einige unbeträchtliche Unregelmässigkeiten ausgenommen, die von der gegenseitigen Wirkung der Kometen und Planeten auf einander herrühren und wohl so lange anwachsen werden, bis das ganze System einer Umbildung bedarf. Eine solche wundervolle Gesetzmässigkeit im Planetensystem muss einer bestimmten Sorg-

Digitized by Google

falt und Auswahl entsprechen. Und ebenso die Gleichförmigkeit in den Körpern der Thiere; sie haben im allgemeinen zwei gleichgeformte Seiten, eine rechte und eine linke, und an jeder Seite ihres Körpers hinten zwei Beine und vorn entweder zwei Beine oder zwei Arme oder zwei Flügel auf den Schultern, dazwischen einen in das Rückgrat auslaufenden Hals und darauf ein Haupt, an diesem zwei Ohren, zwei Augen, eine Nase, einen Mund, eine Zunge, immer in gleicher Weise angeordnet. Auch die Bildung jener äusserst kunstvollen Theile des Thierkörpers, der Augen, Ohren, des Gehirns, der Muskeln, des Herzens, der Lunge, des Zwerchfells, der Drüsen, des Kehlkopfes, der Hände, der Schwingen, der Schwimmblase, der natürlichen Brillen [durchsichtigen Häutchen vor den Augen mancher Thiere] und anderer Sinnes- und Bewegungsorgane, der Instinkt der Insekten, wie der wilden Thiere, kann nur entstanden sein durch die Weisheit und Intelligenz eines mächtigen, ewig lebenden Wesens, welches allgegenwärtig die Körper durch seinen Willen in seinem unbegrenzten, gleichförmigen Empfindungsorgane zu bewegen und dadurch die Theile des Universums zu bilden und umzubilden vermag, besser, als wir durch unseren Willen die Theile unsres eigenen Körpers zu bewegen im Stande sind. Und doch dürfen wir die Welt nicht als den Körper Gottes und ihre Theile als Theile von Gott betrachten. Er ist ein einheitliches Wesen ohne Organe, Glieder oder Theile, und Jenes sind seine Kreaturen, ihm unterworfen und seinem Willen dienend; er ist ebenso wenig ihre Seele, als die Seele eines Menschen die Seele ist von den Bildern der Aussenwelt, die durch seine Sinnesorgane in ihm zur Wahrnehmung gelangen, wo er sie durch seine unmittelbare Gegenwart, ohne Zwischenkunft eines dritten Dinges wahrnimmt. Die Sinnesorgane dienen nicht dazu, dass die Seele die Bilder der Aussenwelt in ihrem Empfindungsorgane wahrnimmt, sondern nur, um sie dorthin zu leiten; Gott hat solche Organe nicht nöthig, da er bei den Dingen überall allgegenwärtig ist. Und da der Raum bis in das Unendliche theilbar ist und die Materie sich nicht nothwendig an jeder Stelle des Raumes befindet, so muss auch zugegeben werden, dass Gott auch Theile der Materie von verschiedener Grösse und Gestalt, in verschiedenen Verhältnissen zum ganzen Raume und vielleicht von verschiedenen Dichtigkeiten und Kräften zu erschaffen vermag und dadurch die Naturgesetze verändern und an verschiedenen Orten des

Weltalls Welten verschiedener Art erschaffen kann. Ich sehe in alle Dem nicht den geringsten Widerspruch.

Wie in der Mathematik, so sollte auch in der Naturforschung bei Erforschung schwieriger Dinge die analytische Methode der synthetischen vorausgehen. Diese Analysis besteht darin, dass man aus Experimenten und Beobachtungen durch Induction allgemeine Schlüsse zieht und gegen diese keine Einwendungen zulässt, die nicht aus Experimenten oder aus anderen gewissen Wahrheiten entnommen sind. Denn Hypothesen werden in der experimentellen Naturforschung nicht betrachtet. Wenn auch die durch Induction aus den Experimenten und Beobachtungen gewonnenen Resultate nicht als Beweise allgemeiner Schlüsse gelten können, so ist es doch der beste Weg, Schlüsse zu ziehen, den die Natur der Dinge zulässt, und [der Schluss] muss für um so strenger gelten, je allgemeiner die Induction ist. Wenn bei den Erscheinungen keine Ausnahme mit unterläuft, so kann der Schluss allgemein ausgesprochen werden. Wenn aber einmal später durch die Experimente sich eine Ausnahme ergiebt, so muss der Schluss unter Angabe der Ausnahmen ausgesprochen werden. Auf diese Weise können wir in der Analysis vom Zusammengesetzten zum Einfachen, von den Bewegungen zu den sie erzeugenden Kräften fortschreiten, überhaupt von den Wirkungen zu ihren Ursachen, von den besonderen Ursachen zu den allgemeineren, bis der Beweis mit der allgemeinsten Ursache endigt. Dies ist die Methode der Analysis; die Synthesis dagegen besteht darin, dass die entdeckten Ursachen als Principien angenommen werden, von denen ausgehend die Erscheinungen erklärt und die Erklärungen bewiesen werden.

In den beiden ersten Büchern dieser Optik bin ich nach der analytischen Methode vorgegangen, um die eigenthümlichen Verschiedenheiten der Lichtstrahlen in Hinsicht ihrer Brechbarkeit, Reflexibilität und der Farben aufzufinden und zu beweisen, ebenso auch ihre abwechselnden Anwandlungen leichter Reflexion und leichten Durchganges und die Eigenschaften der Körper, sowohl der durchsichtigen, als der undurchsichtigen, von denen die Reflexionen und die Farben abhängen. Nachdem diese Entdeckungen einmal nachgewiesen sind, können sie nun in synthetischer Methode zu Grunde gelegt werden, um die aus ihnen entspringenden Erscheinungen zu erklären, eine Methode, für welche ich am Ende des ersten Buchs ein Beispiel gegeben habe. In diesem dritten Buche

Digitized by Google

habe ich nur die Analysis von dem begonnen, was über das Licht und seine Wirkungen auf die Naturkörper noch zu entdecken übrig ist, habe verschiedene Fingerzeige gegeben und den Wissbegierigen diese Andeutungen zur Prüfung und zum Nachweise durch weitere Versuche und Beobachtungen überlassen.

Wenn aber die Naturphilosophie durch Befolgung dieser Methode schliesslich in allen ihren Theilen vollendet sein wird, so werden auch die Grenzen der Moralphilosophie sich erweitern. Denn soweit wir im Stande sind, durch die Naturphilosophie die erste Ursache der Dinge zu erfahren, und welche Macht sie über uns hat und welche Wohlthaten wir von ihr empfangen, so weit werden uns auch durch die Erkenntniss der Natur unsere Pflichten gegen sie, wie gegen uns unter einander klar werden. Und es ist kein Zweifel: hätte nicht die Verehrung falscher Götter die Heiden verblendet, so wäre ihre Moralphilosophie weiter gegangen, als bis zu den vier Cardinaltugenden, und anstatt die Seelenwanderung und die Anbetung von Sonne und Mond und von todten Helden zu lehren, würden sie uns die Verehrung unseres wahren Schöpfers und Wohlthäters gelehrt haben, wie ihre Vorfahren unter der Herrschaft des Noah und seiner Söhne thaten, bevor sie selbst verderbt wurden.

Anmerkungen

zum II. und III. Buche.

Die erste Hälfte des II. Buchs der Optik (bis zu Prop. VIII des 3. Theils) giebt den Inhalt einer der beiden Abhandlungen, »Theorie des Lichts und der Farben«, welche im December 1675 und in mehreren Sitzungen der nächsten Monate in der Royal Society gelesen wurden. Die hier gegebenen Beobachtungen und Messungen der Farbenringe und der Farben dünner Blättchen waren so sorgfältig und genau angestellt, dass sie *Newton* nach 30 Jahren noch benutzen, und dass mehr als 100 Jahre später *Young* und *Fresnel* bei der Berechnung der Wellenlängen des Lichts noch auf ihnen fussen konnten. Dagegen ist die Hypothese über die Natur des Lichts, die *Newton* in (dem ersten Theile) jener älteren Abhandlung ausgesprochen hatte, nicht mit in seine Optik übergegangen. Er sagt zwar, er wolle überhaupt keine Hypothese aufstellen, sondern nur Erscheinungen beschreiben und Eigenschaften der Lichtstrahlen entwickeln, die von jeder Hypothese unabhängig seien, er will optische Theorien geben ohne eine Grundhypothese über das Wesen des Lichts, aber, indem er andere Hypothesen zurückweist, wird er doch selbst von Annahme zu Annahme geführt. In jener älteren Abhandlung hatte er die Emanationstheorie entwickelt und dabei Schwingungen angenommen, welche in dem innerhalb der Körper angenommenen Aether durch die auftreffenden Lichtstrahlen hervorgerufen würden, wobei eine Hinneigung zur Undulationstheorie oft nicht zu verkennen war; inzwischen aber hatten seine mathematisch-physikalischen Studien durch Ausbildung der Gravitationsidee bei ihm die Kraftanschauung so in den Vordergrund gerückt, dass er jetzt den Aether ganz fallen liess und in der »Optik« die Erscheinungen durch die neue Hypothese zu erklären suchte, dass die aus materiellen

Digitized by Google

Theilchen bestehenden Lichtstrahlen selbst in gewissen periodischen Dispositionen oder Anwandlungen sich befänden, hat also nur, was immerhin sein Verdienst bleibt, die Periodicität der Lichtbewegung festgehalten, übrigens auch auf Grund dieser Annahme von den Farben dünner Blättchen z. T. mathematisch ganz richtige Erklärungen erzielt.

In den verschiedenen Ausgaben der Optik finden sich schon im II. Buche zahlreiche Abweichungen, selbst in den Zahlenangaben der Messungen; in der vorliegenden Uebersetzung ist daher im Wesentlichen die dritte Ausgabe (1721), als die letzte von *Newton's* eigner Hand, zu Grunde gelegt. Ueber die bedeutenderen Aenderungen, die er im III. Buche vorgenommen hat, s. weiter unten, Anm. 14.

1) *Zu S. 11.* Mit dem »ersten von 106 arithmetischen Mitteln« ist das erste Glied der arithmetischen Progression gemeint, welche entsteht, wenn man sich die Differenz zwischen Einfallssinus und Brechungssinus in 106 gleiche Theile getheilt denkt, also, wenn J der Einfallswinkel, R der Brechungswinkel ist, $\sin R - \frac{1}{106}(\sin R - \sin J) = \frac{105}{106}\sin R + \frac{1}{106}\sin J$, oder, weil $\sin J = n \sin R$, $= \frac{105 + n}{106}\sin R$.

2) *Zu S. 16.* Die angegebene Tabulatur ist dieselbe, wie im I. Buche, Theil 2, Prop. VI (s. Heft 96, S. 100 und Anm. 17) und die Verhältnisse der Saitenlängen die nämlichen, wie ebenda, Prop. III (Heft 96, S. 82 und Anm. 15). Bei seiner Neigung, eine Uebereinstimmung von Farben und Tönen aufzufinden, hat *Newton* hier Grössenverhältnisse angegeben, die nur zum Theil richtig sind. *Feussner* hat (in Winkelmann's Handb. d. Physik, II, 1, S. 549) für die hier bezeichneten acht Stellen des Spectrums die Wellenlängen in *mm* berechnet und mit den richtigen Werthen verglichen; die Berechnung ging von der in der 6. Beobachtung (S. 10) von *Newton* angegebenen absoluten Grösse der Dicke zwischen Gelb und Orange ($= \frac{1}{178000}$ Zoll) aus und zeigt, dass im Allgemeinen ziemlich richtige Werthe kommen, im Roth aber beträchtliche Abweichungen.

3) *Zu S. 21.* Der ganze folgende Satz fehlt in der ersten englischen und lateinischen Ausgabe.

4) *Zu S. 30.* Bei dieser nebensächlichen Erwähnung von *Hooke* (*Newton* schreibt ihn überall *Hook*) und dessen grundlegendem Werke, der Micrographia (1665), möge daran erinnert werden, dass *Newton* schon seit 1675, wo das aus

Digitized by Google

der damaligen Abhandlung hier Wiederholte in der Royal Society gelesen wurde, mit *Hooke* in ein sehr gespanntes Verhältniss getreten war. *Hooke* hatte in der That die Farben dünner Blättchen und die Ringe, die wir heute *Newton*'sche Ringe nennen, bereits genau beobachtet und beschrieben, und *Newton* hatte nur durch genaue Messung der Ringdurchmesser, der Dicke der Blättchen etc. die quantitative Bestimmung des Phänomens hinzugefügt, sowie eine andere Theorie desselben gegeben, damals (1675) auf die Aetherschwingungen, jetzt (1704) auf die Anwandlungen gestützt. Obgleich *Hooke* in einer anderen Frage sich schliesslich entgegenkommend zeigte, indem er die Farbenlehre *Newton*'s wenigstens stillschweigend anerkannte, wurde der Streit der beiden Gelehrten doch wieder verschärft durch die Bemerkung *Newton*'s, dass die von *Hooke* als neu vorgeführten Beugungserscheinungen schon früher von *Grimaldi* beschrieben worden seien, und die Verstimmung, auf brieflichem Wege nur scheinbar beseitigt, übte dauernd auf beiden Seiten eine lähmende Wirkung auf den Fortgang der Forschungen. Eine eingehendere Darstellung des Verlaufs jener Streitigkeiten giebt *Rosenberger*, Isaac Newton etc. Leipzig 1895, S. 111—116.

5) *Zu S. 37.* Im Folgenden sucht *Newton* die Theorie der Farben dünner Blättchen auch auf die Erklärung der permanenten Farben der natürlichen Körper anzuwenden und führt letztere mit Hülfe einiger ziemlich gewagten Annahmen über das Wesen der Materie völlig auf erstere zurück, indem er die Oberflächenschichten der Körper als dünne Platten auffasst, deren Farben von der Grösse der bis zu einem gewissen Grade seiner Ansicht nach immer durchsichtigen Körpermoleküle abhängen. Wenn diese Ansicht auch mit unserer jetzigen Auffassung nicht übereinstimmt und z. B. bei der Erklärung der schwarzen Farbe zu mancher befremdlichen Aeusserung führt, so muss doch im Vergleich zu dem, was vor ihm Andere, wie *Descartes*, *Grimaldi* und selbst *Hooke* darüber geschrieben hatten, dieser Darstellung eine epochemachende Bedeutung zugeschrieben werden, denn selbst *Huyghens* hatte in seinem Traité de la lumière die Theorie der Farben gänzlich mit Stillschweigen übergangen; seine Undulationstheorie bot ihm noch keine Erklärung der Dispersion, ebenso wie ihm (wegen der angenommenen Longitudinalschwingungen) die Erscheinung der Polarisation ein ungelöstes Räthsel blieb.

Digitized by Google

6) *Zu S. 54.* Der ganze, hier beginnende Absatz bis zu Ende der Prop. fehlte in der ersten englischen, wie lateinischen Ausgabe der Optik. Auch hier noch vermag *Newton* nur durch die Analogie mit den Kräften des Magnetismus und der Gravitation die geradlinige Fortpflanzung des Lichts durch feste und flüssige Körper annehmbar zu machen, und gesteht weiter unten selbst, dass die Erscheinung schwer zu begreifen sei.

7) *Zu S. 56.* Der hier von *Newton* zuerst aufgestellte Begriff des specifischen Brechungsvermögens oder der Refractionsconstante und deren empirisch aufgestellter Ausdruck $\frac{n^2 - 1}{d} = \text{Const.}$ ist bis vor wenigen Jahrzehnten in Gebrauch geblieben, auch von *Laplace* in der Méc. cél. aus der Emissionstheorie abgeleitet worden.

8) *Zu S. 62.* Von dieser Stelle an beginnt *Newton*, seinem Vorsatze, keine Hypothesen aufstellen zu wollen, untreu zu werden, wenn auch nur, wie er sagt, Denen zu Gefallen, die ohne Hypothesen eine Erklärung neuer Entdeckungen nicht hören wollen. *Hooke* hatte schon richtig erkannt, dass bei den Farben dünner Blättchen die Interferenz der an der Vorder- und Hinterfläche reflectirten Strahlen in Betracht komme; *Newton* musste mit den Aetherschwingungen zugleich diese Auffassung verwerfen, aber nun forderte die Corpusculartheorie gebieterisch eine andere Hypothese, daher legt *Newton* nun den Lichtstrahlen selbst jene periodisch wechselnde Disposition oder Neigung bei, bald reflectirt, bald zurückgeworfen zu werden, die er Anwandlungen leichter Reflexion und leichten Durchganges nennt, fits (vices, accès) of easy reflexion and transmission (oder auch refraction), und mit deren meist räumlich, nicht zeitlich zu verstehenden Intervallen er eigentlich auch nur Wellenlängen von Undulationsbewegungen mass.

9) *Zu S. 65.* Bezeichnet man die Intervalle oder, wie sie *Biot* nennt, die Längen der Anwandlungen mit i und i', den Brechungswinkel mit R, so stellt also *Newton* hier das Gesetz auf: $i : i' = \sec R \sec u$, wo $\sin u = \frac{105 + n}{106} \sin R$. Dasselbe ist später durch Untersuchungen von *de la Provostaye* und *Desains* (1849) dahin richtig gestellt worden, dass $i : i' = \sec^2 R : \sec^2 R'$ (s. Pogg. Ann. **160**, S. 320).

10) *Zu S. 65 u. 72.* Die Töne der Oktave sind hier wieder, wie im I. Buche, Sol, La, Fa, Sol, La, Mi, Fa, Sol genannt, und deshalb in der Uebersetzung weggelassen worden; s. Heft 96, Anm. 17.

11) *Zu S. 70.* In der 3. Ausgabe der Optik, der die Uebersetzung im Allgemeinen folgt, steht allerdings $4\frac{3}{20}$ Zoll, aber alle anderen Ausgaben haben den richtigeren Werth $3\frac{3}{20}$, der auch der gewünschten Proportion entspricht.

12) *Zu S. 72.* Die hier gegebenen Differenzen der Saitenlängen setzen die Schwingungszahlen voraus:

$$1 \quad \tfrac{9}{8} \quad \tfrac{6}{5} \quad \tfrac{4}{3} \quad \tfrac{3}{2} \quad \tfrac{27}{16} \quad \tfrac{9}{5} \quad 2$$

also die Saitenlängen:

$$1 \quad \tfrac{8}{9} \quad \tfrac{5}{6} \quad \tfrac{3}{4} \quad \tfrac{2}{3} \quad \tfrac{16}{27} \quad \tfrac{5}{9} \quad \tfrac{1}{2}$$

woraus deren Differenzen:

$$\tfrac{1}{9} \quad \tfrac{1}{18} \quad \tfrac{1}{12} \quad \tfrac{1}{12} \quad \tfrac{2}{27} \quad \tfrac{1}{27} \quad \tfrac{1}{18}.$$

Die angenommenen Schwingungszahlen weichen demnach von den im ersten Buche mehrfach verwendeten und auch später (S. 78) wieder benutzten in der Sexte ($\frac{27}{16}$ statt $\frac{5}{3}$) und Septime ($\frac{9}{5}$ statt $\frac{16}{9}$) ab, welche beide um ein Komma ($\frac{81}{80}$) höher liegen. Ein Vergleich der ersten und zweiten Tonfolge fällt zu Gunsten der letzteren aus, indem hier die Sexte die reine Quart der Secunde ($\frac{9}{8} \cdot \frac{3}{2}$) und die Septime die reine Quart der Terz ist ($\frac{6}{5} \cdot \frac{3}{2}$), so dass dieses System einen reinen Duraccord, $\frac{6}{5}$, $\frac{3}{2}$, $\frac{9}{5}$, und zwei reine Mollaccorde aufzuweisen hat: 1, $\frac{6}{5}$, $\frac{3}{2}$ und $\frac{3}{2}$, $\frac{9}{5}$, (2.)$\frac{9}{8}$.

13) *Zu S. 73.* Diese zuerst von *Newton* beobachteten Farben dicker Platten entspringen in der That aus Interferenzen der von der Vorder- und Hinterfläche des Glases reflectirten Strahlen.

14) *Zu S. 100.* Dass im Folgenden eine unvollendete Arbeit vorliegt, geht auch daraus hervor, dass noch in der 3. englischen Ausgabe das III. Buch mit der Ueberschrift I. Theil beginnt, ohne dass weitere Theile folgen, sowie daraus, dass *Newton* bei jeder neuen Ausgabe der Optik zahlreiche Aenderungen und Erweiterungen im Texte der Fragen angebracht hat. Diese Fragen sind z. Th. sehr ausführliche Betrachtungen, wie z. B. die Beobachtungen am isländischen Doppelspath und der Nachweis einer chemischen Anziehungskraft, und enthalten grösstentheils auch zugleich die Antworten, vielfach sogar durch Beobachtungen und Experimente unterstützt. *Newton* will hier Alles zur Sprache bringen und »den Forschern diese Andeutungen zur Prüfung und zum

Digitized by Google

Nachweise durch weitere Beobachtungen und Versuche überlassen« (S. 147), was er, als zu hypothetischer Natur, aus den ersten zwei Büchern und dem ersten Theile des dritten auszuscheiden wünschte.

Da die Abweichungen in den verschiedenen Ausgaben hier nicht einzeln aufgeführt werden sollen (man findet sie genau angegeben bei *Horsley, Newtoni* opp. IV.), so sei nur im Allgemeinen bemerkt, dass die erste englische Ausgabe der Optik (1704) und die erste lateinische (1706) nur die Fragen 1—7 vollständig haben, hierauf die ersten Sätze der Fragen 8—16 und als Nr. 17—23 die später mit kleinen Aenderungen als 25—31 bezeichneten Fragen enthalten, während die zuletzt mit 17—24 bezeichneten erst in der zweiten Ausgabe eingeschoben sind.

15) *Zu S. 103.* Oil of Sulphur, Oleum Sulphuris war die Bezeichnung für das überdestillirte [per campanam] Schwefelammonium, welches man aus einem Gemische von Salmiak, Kalk und Schwefel darstellte.

16) *Zu S. 105.* Diese Schwingungen der Lichtstrahlen sind nach *Newton* longitudinale Schwingungen in dem Strome der kleinen materiellen Lichtkörperchen, deren Auftreffen auf die Körper in dem innerhalb des reflectirenden oder brechenden Mediums gedachten Aether Vibrationen hervorruft oder auf der Netzhaut des Auges Schwingungen erregt, wofür ihm die Dauer des Lichteindrucks (Ende von Fr. 16) ein Beweis ist. S. 106 braucht er dann gelegentlich des Vergleichs mit Wasserwellen und Luftschwingungen geradezu den Ausdruck: »Wellen von Vibrationen«.

17) *Zu S. 106.* *Newton* ist der Erste, der (in seinen Princip. II, sect. VIII) eine Theorie der Wellen aufgestellt hat. Er ging von den Schwankungen des Wasserniveaus in communicirenden Röhren aus und verglich sie mit Pendelschwingungen (Prop. XLIV, etc.), blieb aber durchaus bei stehenden Schwingungen, aus denen er auch die fortlaufende Welle zusammengesetzt dachte, ohne das für dieselbe besonders charakteristische Fortschreiten der Phase zu erkennen.

18) *Zu S. 107.* Hier fügt *Newton* zu seiner Annahme der Anwandlungen, und zwar, um wieder deren Entstehung zu erklären, die neue Hülfshypothese hinzu, die er S. 123 noch genauer bezeichnet, dass die in den Körpern hervorgerufenen Schwingungen schneller seien, als die Strahlen

Digitized by Google

selbst, und daher auf die Geschwindigkeit der in letzteren oscillirenden Theilchen bald fördernd, bald hemmend einwirken. Dagegen ist in Prop. XIII (S. 64) die Vermuthung ausgesprochen, dass das Licht wahrscheinlich schon bei der Emission von den leuchtenden Körpern in diese Anwandlungen versetzt werde.

19) *Zu S. 107.* Die folgenden, dem Aether gewidmeten Betrachtungen bis S. 110, welche *Newton* hier aus seinen älteren Papieren, insbesondere aus der ungedruckten Abhandlung von 1675 herübergenommen hat, scheinen, wie *Poggendorff* (Geschichte der Physik, S. 689) meint, zu beweisen, dass er die Scrupel über die Aethertheorie und die Undulationstheorie des Lichts noch nicht ganz überwunden hatte; ja man hat ein Schwanken *Newton*'s zwischen Emanations- und Undulationstheorie und eine, wenn auch nicht offen zugestandene Hinneigung zur letzteren herauszulesen geglaubt. Besser begründet ist wohl nach *Rosenberger* (a. a. O. S. 311, 321) die Auffassung, dass *Newton*, vielleicht veranlasst durch Angriffe seiner Gegner, hier nur darthun wollte, dass er die Aetherhypothese sorgfältig studirt und gewürdigt hatte, dass aber — und dies hält er gleichsam als seinen officiellen Standpunkt immer fest — seine optischen Theorien von allen Hypothesen unabhängig und mit allen vereinbar seien; denn er lässt zwar jede andere Hypothese zur Erklärung der Erscheinungen zu, erklärt sie aber schliesslich alle für unannehmbar und den Aether für unmöglich (s. Fragen 22 und 28, S. 120).

20) *Zu S. 108.* Schon *Cartesius* hatte den Aether als Ursache der Gravitation angenommen, und anfangs war auch *Newton* dieser Meinung. Obgleich er sie längst fallen gelassen hatte, widmet er diesem Gedanken doch hier, fast 40 Jahre später, die Betrachtungen in Frage 21. Interessant ist in dieser Hinsicht der bei *Horsley* (l. c. IV, pag. 385 etc.) wiedergegebene Brief *Newton*'s an *Boyle* vom 28. Februar $167\frac{8}{9}$, in welchem er den Aether als eine äusserst elastische, durch den ganzen Raum verbreitete und alle Körper durchdringende Substanz definirt, ihn als Ursache der Brechung und Beugung des Lichts, der Adhäsion und Cohäsion, der chemischen und Capillar-Attraction etc. bezeichnet und schliesslich durch weitere Hypothesen auseinandersetzt, in welcher Weise er sich den Druck des Aethers als Ursache der Schwerkraft denkt. Am Schlusse des Briefes heisst es aber: »Ich

Digitized by Google

für meinen Theil spüre so wenig Neigung für solche Dinge [Hypothesen], dass ich ohne Eure Ermuthigung keineswegs deshalb die Feder angesetzt hätte«. Später, nach Auffindung des Gravitationsgesetzes, entfernt er sich gänzlich von der Vorstellung, dass die Attraction durch den Aether bewirkt werde, und nimmt dieselbe einfach als Erfahrungsthatsache an. In dem Vorworte zur 2. Auflage der Optik (s. Heft 96) hebt er ausdrücklich hervor, dass er die Schwerkraft nicht als eine wesentliche Eigenschaft der Körper auffasse, und in den 1686 bereits erschienenen Principien (tom. III) enthalten die Regulae philosophandi den Satz: Attamen gravitatem corporibus essentialem esse minime affirmo.

21) *Zu S. 112.* Es muss auffallen, dass *Newton* hier, gestützt auf seine Beobachtungen, eine keineswegs richtige Regel giebt, obgleich *Huyghens*, dessen Schrift vom Jahre 1690 ihm bekannt war, den ausserordentlichen Strahl bereits richtig construirt hatte. Aber *Newton* ignorirt dies geflissentlich, weil er nicht auf die Undulationstheorie eingehen will, die hier nicht wohl zu umgehen war und die gerade in diesem Punkte eine ihm unbequeme Ueberlegenheit über seine eigenen Anschauungen bekundete; nennt doch *Huyghens* in einem Briefe an *Leibniz* (1694) die ausserordentliche Brechung im Doppelspathe sein experimentum crucis (*Rosenberger*, S. 337).

22) *Zu S. 118.* Die hier citirte gründliche Experimentaluntersuchung *Newton*'s findet sich in seinen Princip. II, sect. VI, scholium generale (in Wolfers' Uebersetzung S. 306 bis 317).

23) *Zu S. 120.* Nach Princ. II, sect. VII, prop. XXXVIII, Coroll. IV. verliert sie die Hälfte ihrer Geschwindigkeit bereits, bevor sie einen Weg von zwei Durchmessern zurückgelegt hat.

24) *Zu S. 124.* Diese Stelle hat historische Bedeutung, insofern hier der Ursprung des Namens »Polarisation« der Lichtstrahlen zu suchen ist. *Newton* nimmt zwar zunächst nur vergleichsweise eine Polarität der Lichtkörperchen nach Art eines Magnets an, als aber *Malus* (1810) die seit einem Jahrhundert ruhenden Beobachtungen einer Seitlichkeit der Lichtstrahlen mit Entdeckung der Polarisation durch Reflexion wieder aufgriff und ergänzte, deutete er auf Grund der Emissionstheorie den Act der Polarisation ebenfalls durch eine der Magnetisirung analoge Gleichrichtung

Digitized by Google

der Molekeln, und die Undulationstheorie hat den einmal eingeführten Namen beibehalten.

25) *Zu S. 124.* Mit diesem Hinweis auf die Fragen 18—20 kommt *Newton* auffallender Weise nochmals auf die scheinbar abgethane Aethertheorie zurück, indem er meint, man könne sich diese Attraction etc. vielleicht auch durch sie erklären, oder man möge sie sich, wenn man wolle, dadurch verständlich machen [may be understood]: abermals ein Argument entweder dafür, dass er jene nicht absolut verwirft, oder dass er nochmals seine theoretische Neutralität gegenüber jeglicher Hypothese hervorheben will; vgl. Anm. 19.

26) *Zu S. 126.* Nachdem schon der um die Entwickelung der Chemie hochverdiente *Rob. Boyle* (1626—1691), den *Newton* mehrfach anführt, eine »Aneinanderlagerung der sich anziehenden Theilchen verschiedener Körper« als Ursache für das Zustandekommen einer chemischen Verbindung angenommen hatte, ohne indess diese angedeutete Corpusculartheorie speciell weiter auszuführen, spricht es unter Anführung einer langen Reihe von Beispielen zuerst *Newton* bestimmt aus, dass solche Verbindungen aus jener Attraction entspringen, die wir heute chemische Affinität nennen, die aber von der Gravitation verschieden sei.

27) *Zu S. 132.* Unter Markasiten verstand man damals alle möglichen Schwefelverbindungen, insbesondere die Kiese, Blenden und Glanze.

28) *Zu S. 138.* Da ein Furlong (Feldmaass) = 220 Yards = 660 engl. Fuss = ca. 201 m, also $2\frac{1}{2}$ Furlong = 500 m sind, so ist das erwähnte Cylindervolumen etwa = $660 . \frac{5}{2} \left(\frac{1}{24}\right)^2 \pi$ = ca. 9 Kubikfuss englisch, und wiegt ungefähr 250 kg.

Berichtigung zu Heft 96.

S. 129 Zeile 4 von unten muss es heissen:

$$\frac{RS^3}{ID^2} \text{ statt } \frac{RS^3}{ID^3}.$$

Druck von Breitkopf & Härtel in Leipzig.

Digitized by Google

12
INSTITUT
D'ESTUDIS CATALANS
SECCIÓ DE CIENCIES
BIBLIOTECA
BIBLIOTECA DE CATALUNYA
1001984669
BIBLIOTECA CENTRAL
9777.
Digitized by Google

BIBL